

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-033967  
 (43)Date of publication of application : 07.02.1997

(51)Int.Cl. G02F 1/39

(21)Application number : 07-210868 (71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
 <NTT>

(22)Date of filing : 18.08.1995 (72)Inventor : MORI KUNIHIKO  
 MORIOKA TOSHIO  
 SARUWATARI MASATOSHI

(30)Priority

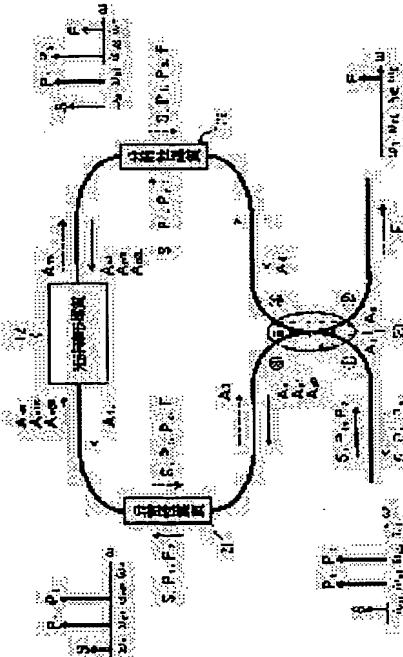
Priority number : 06260443 Priority date : 25.10.1994 Priority country : JP  
 07120155 18.05.1995 JP

## (54) 4-LIGHT-WAVE MIXED LIGHT GENERATING CIRCUIT AND OPTICAL CIRCUIT USING SAME

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide the 4-light-wave mixed light generating circuit which can separate and extract 4-light-wave mixed light (wavelength converted light and phase conjugate light) from signal light and exciting light without using a wavelength demultiplexing means such as a wavelength film and the optical circuit which uses it.

**SOLUTION:** A ports 3 of a  $2 \times 2$  optical branching and coupling unit and an optical nonlinear medium are connected by a dispersive medium which has a specific length and a specific propagation constant and a port 4 and the optical nonlinear medium are connected by a dispersive medium which has a specific length and a specific propagation constant; and the signal light S (carrier angular frequency  $\omega_S$ ) and exciting lights P1 and P2 (carrier angular frequencies  $\omega_{P1}$  and  $\omega_{P2}$ ) are made incident from a port 1 of the optical branching and coupling unit 20 and the 4-light-wave mixed light (carrier angular frequency  $\omega_f = \omega_{P1} + \omega_{P2} - \omega_S$ ) generated by the optical nonlinear medium is led out of a port 2.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 14.10.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

**BEST AVAILABLE COPY**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(51)Int. C1.<sup>6</sup>  
G 02 F識別記号  
1/39F I  
G 02 F

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 14 O L

(全 29 頁)

(21)出願番号 特願平7-210868  
 (22)出願日 平成7年(1995)8月18日  
 (31)優先権主張番号 特願平6-260443  
 (32)優先日 平6(1994)10月25日  
 (33)優先権主張国 日本 (JP)  
 (31)優先権主張番号 特願平7-120155  
 (32)優先日 平7(1995)5月18日  
 (33)優先権主張国 日本 (JP)

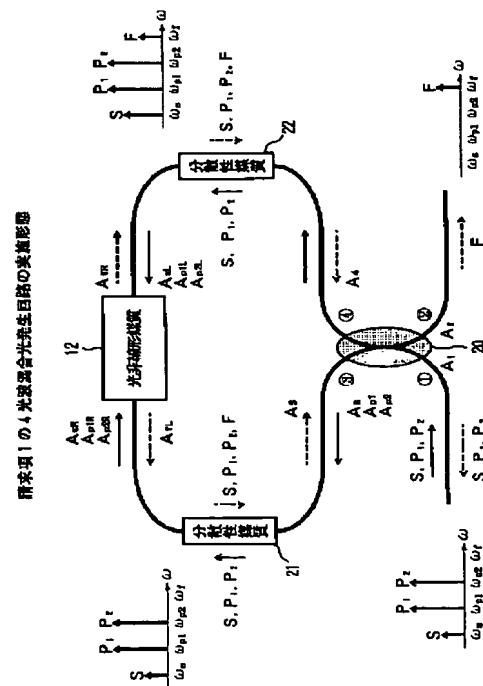
(71)出願人 000004226  
 日本電信電話株式会社  
 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号  
 (72)発明者 森 邦彦  
 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本  
 電信電話株式会社内  
 (72)発明者 盛岡 敏夫  
 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本  
 電信電話株式会社内  
 (72)発明者 猿渡 正俊  
 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本  
 電信電話株式会社内  
 (74)代理人 弁理士 古谷 史旺

## (54)【発明の名称】4光波混合光発生回路およびそれを用いた光回路

## (57)【要約】

【課題】 波長フィルタ等の波長分離手段を用いずに、4光波混合光(波長変換光、位相共役光)を信号光および励起光から分離して取り出すことができる4光波混合光発生回路およびそれを用いた光回路を実現する。

【解決手段】  $2 \times 2$  の光分岐結合器のポート③と光非線形媒質とを所定の長さと伝搬定数を有する分散性媒質で接続し、ポート④と光非線形媒質とを所定の長さと伝搬定数を有する分散性媒質で接続し、信号光  $S$  (キャリア角周波数  $\omega_s$ ) と励起光  $P_1, P_2$  (キャリア角周波数  $\omega_{p1}, \omega_{p2}$ ) を光分岐結合器 2 0 のポート①から入射し、ポート②から光非線形媒質で発生した4光波混合光(キャリア角周波数  $\omega_x = \omega_{p1} + \omega_{p2} - \omega_s$ )を取り出す。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 キャリア角周波数 $\omega_s$ 、 $\omega_{p1}$ 、 $\omega_{p2}$ の光からキャリア角周波数 $\omega_f$ (= $\omega_{p1}+\omega_{p2}-\omega_s$ )の光を発生させる光非線形媒質と、

キャリア角周波数 $\omega_s$ 、 $\omega_{p1}$ 、 $\omega_{p2}$ 、 $\omega_f$ の光をそれぞれ等しい強度および等しい偏波で分岐する2入力2出力の光分岐結合器と、

前記光分岐結合器の第1の出力ポートと前記光非線形媒質の一端とを結合する長さ $L_1$ 、伝搬定数 $K_1(\omega)$ の第1の分散性媒質と、

前記光分岐結合器の第2の出力ポートと前記光非線形媒質の他端とを結合する長さ $L_2$ 、伝搬定数 $K_2(\omega)$ の第2の分散性媒質とを備え、

キャリア角周波数 $\omega_s$ の信号光およびキャリア角周波数 $\omega_{p1}$ 、 $\omega_{p2}$ の励起光を前記光分岐結合器の第1の入力ポートに入射し、前記光分岐結合器の第2の入力ポートから前記光非線形媒質中で発生したキャリア角周波数 $\omega_f$ (= $\omega_{p1}+\omega_{p2}-\omega_s$ )の光を出射させ、

前記キャリア角周波数 $\omega_s$ 、 $\omega_{p1}$ 、 $\omega_{p2}$ は、整数n、許容誤差を $\alpha$ ( $0 \leq \alpha < 1/2$ )としたときに、

$$\{K_2(\omega_s) + K_2(\omega_f) - K_2(\omega_{p1}) - K_2(\omega_{p2})\} L_2 = \{K_1(\omega_s) + K_1(\omega_f) - K_1(\omega_{p1}) - K_1(\omega_{p2})\} L_1 + (2n - 1 \pm \alpha)\pi$$

の関係を有することを特徴とする4光波混合光発生回路。

【請求項2】 請求項1に記載の4光波混合光発生回路において、

信号光のキャリア角周波数 $\omega_s$ と、励起光のキャリア角周波数 $\omega_{p1}$ 、 $\omega_{p2}$ が、

$$\omega_{p1} < \omega_s < \omega_{p2}$$

に設定されたことを特徴とする4光波混合光発生回路。

【請求項3】 キャリア角周波数 $\omega_{s,j}$ ( $j=1, 2, \dots, N$ )、 $\omega_{p1}$ 、 $\omega_{p2}$ の光からキャリア角周波数 $\omega_{f,j}$ (= $\omega_{p1}+\omega_{p2}-\omega_{s,j}$ )の光を発生させる光非線形媒質と、

キャリア角周波数 $\omega_{s,j}$ 、 $\omega_{p1}$ 、 $\omega_{p2}$ 、 $\omega_{f,j}$ の光をそれぞれ等しい強度および等しい偏波で分岐する2入力2出力の光分岐結合器と、

前記光分岐結合器の第1の出力ポートと前記光非線形媒質の一端とを結合する長さ $L_1$ 、伝搬定数 $K_1(\omega)$ の第1の分散性媒質と、

前記光分岐結合器の第2の出力ポートと前記光非線形媒質の他端とを結合する長さ $L_2$ 、伝搬定数 $K_2(\omega)$ の第2の分散性媒質とを備え、

キャリア角周波数 $\omega_{s,j}$ の波長多重信号光およびキャリア角周波数 $\omega_{p1}$ 、 $\omega_{p2}$ の励起光を前記光分岐結合器の第1の入力ポートに入射し、前記光分岐結合器の第2の入力ポートから前記光非線形媒質中で発生したキャリア角周波数 $\omega_{f,j}$ (= $\omega_{p1}+\omega_{p2}-\omega_{s,j}$ )の光を出射させ、

前記キャリア角周波数 $\omega_{s,j}$ 、 $\omega_{p1}$ 、 $\omega_{p2}$ は、整数n、許容誤差を $\alpha$ ( $0 \leq \alpha < 1/2$ )としたときに、

2

$$\{K_2(\omega_{f,j}) + K_2(\omega_{s,j}) - K_2(\omega_{p1}) - K_2(\omega_{p2})\} L_2 = \{K_1(\omega_{f,j}) + K_1(\omega_{s,j}) - K_1(\omega_{p1}) - K_1(\omega_{p2})\} L_1 + (2n - 1 \pm \alpha)\pi$$

の関係を有することを特徴とする4光波混合光発生回路。

【請求項4】 請求項3に記載の4光波混合光発生回路において、

波長多重信号光のキャリア角周波数 $\omega_{s,j}$ ( $j=1, 2, \dots, N$ )と、励起光のキャリア角周波数 $\omega_{p1}$ 、 $\omega_{p2}$ が、

$$10 \quad \omega_{p1} < \omega_{s,j} < \omega_{p2}$$

に設定されたことを特徴とする4光波混合光発生回路。

【請求項5】 請求項1から請求項4のいずれかに記載の4光波混合光発生回路において、

光非線形媒質、光分岐結合器、第1の分散性媒質および第2の分散性媒質が偏波保持性を有することを特徴とする4光波混合光発生回路。

【請求項6】 請求項1から請求項4のいずれかに記載の4光波混合光発生回路において、

偏波保持型の光非線形媒質、光分岐結合器、分散性媒質中の偏波分散を補償する手段を備えたことを特徴とする4光波混合光発生回路。

【請求項7】 請求項1から請求項4のいずれかに記載の4光波混合光発生回路において、

信号光および励起光を結合する光合波器を備え、その光合波器の出力光を光分岐結合器の第1の入力ポートに入射することを特徴とする4光波混合光発生回路。

【請求項8】 請求項1から請求項4のいずれかに記載の4光波混合光発生回路において、

光分岐結合器の第1の入力ポートから出射される信号光および励起光を阻止する手段を備えたことを特徴とする4光波混合光発生回路。

【請求項9】 請求項1から請求項4のいずれかに記載の4光波混合光発生回路において、

光分岐結合器の第2の入力ポートの出射光からキャリア角周波数 $\omega_f$ (= $\omega_{p1}+\omega_{p2}-\omega_s$ )または $\omega_{f,j}$ (= $\omega_{p1}+\omega_{p2}-\omega_{s,j}$ )の4光波混合光のみを通過させる光フィルタを備えたことを特徴とする4光波混合光発生回路。

【請求項10】 請求項1から請求項4のいずれかに記載の4光波混合光発生回路において、

信号光または励起光が角度変調されていることを特徴とする4光波混合光発生回路。

【請求項11】 請求項10に記載の4光波混合光発生回路において、

信号光の角度変調量 $\phi_s(t)$ または $\phi_{s,j}(t)$ および励起光の角度変調量 $\phi_{p1}(t)$ 、 $\phi_{p2}(t)$ が、

$$\phi_{p1}(t) + \phi_{p2}(t) - \phi_s(t) = 0$$

または

$$\phi_{p1}(t) + \phi_{p2}(t) - \phi_{s,j}(t) = 0$$

の関係に設定されたことを特徴とする4光波混合光発生回路。

50

【請求項 12】 請求項 1 から請求項 4 のいずれかに記載の 4 光波混合光発生回路において、キャリア角周波数  $\omega_{p1}$ ,  $\omega_{p2}$  の励起光が信号光に同期して強度変調されていることを特徴とする 4 光波混合光発生回路。

【請求項 13】 請求項 7 に記載の 4 光波混合光発生回路を M 段継続に接続し、

第 1 段の 4 光波混合光発生回路に、時分割多重されたキャリア角周波数  $\omega_{so}$  の入力光パルス列と所定のチャネルに同期したキャリア角周波数  $\omega_{p11}$ ,  $\omega_{p21}$  の第 1 のゲート光パルスとを入射し、キャリア角周波数  $\omega_{s1}$  ( $= \omega_{p11} + \omega_{p21} - \omega_{so}$ ) の光を出射し、

第 n 段 ( $n = 1, 2, \dots, M$ ) の 4 光波混合光発生回路に、第  $n-1$  段の 4 光波混合光発生回路から出射される所定のチャネルに対応したキャリア角周波数  $\omega_{s(n-1)}$  の光と、前記所定のチャネルに同期したキャリア角周波数  $\omega_{p1n}$ ,  $\omega_{p2n}$  の第 n のゲート光パルスとを入射し、キャリア角周波数  $\omega_{sn}$  ( $= \omega_{p1n} + \omega_{p2n} - \omega_{s(n-1)}$ ) の光を出射する構成であることを特徴とする光回路。

【請求項 14】 時分割多重されたキャリア角周波数  $\omega_s$  の入力光パルス列と、これに同期し、第 k チャネル ( $k = 1, 2, \dots, N$ ) に対応するキャリア角周波数  $\omega_{p1k}$ ,  $\omega_{p2k}$  のゲート光パルスとを合波する光合波器と、光分岐結合器の第 1 の入力ポートに前記光合波器の出力光を入射し、光分岐結合器の第 2 の入力ポートから、前記所定のチャネルに対応したキャリア角周波数  $\omega_{rk}$  ( $= \omega_{p1k} + \omega_{p2k} - \omega_s$ ) の光を出射する請求項 1 に記載の 4 光波混合光発生回路と、前記キャリア角周波数  $\omega_{rk}$  の光を分離する光分波器とを備えたことを特徴とする光回路。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光非線形媒質中に誘起される 3 次の光パラメトリック効果を利用して 4 光波混合光を発生する 4 光波混合光発生回路、およびそれを用いて波長変換、位相共役光の発生（スペクトル反転）、全光スイッチング（光パルス分離）の各手段として用いられる光回路に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】図 2 1 は、従来の 4 光波混合光発生回路の構成を示す。図において、信号光 S (キャリア角周波数  $\omega_s$ ) と、励起光  $P_1$ ,  $P_2$  (キャリア角周波数  $\omega_{p1}$ ,  $\omega_{p2}$ ) は光合波器 1 1 で結合され、光非線形媒質 1 2 に同時に入力されて伝搬することにより、3 次の光パラメトリック効果が誘起される。そして、4 光波混合過程によりキャリア角周波数  $\omega_r$  ( $= \omega_{p1} + \omega_{p2} - \omega_s$ ) の 4 光波混合光 F が発生する。

【0003】この 4 光波混合光 F は、キャリア角周波数  $(\omega_{p1} + \omega_{p2})/2$  に対して信号光 S のスペクトルと鏡映対称の関係にあり、信号光 S の位相共役光でもある。す

なわち、4 光波混合光発生回路は位相共役光発生回路にもなる。図 2 2 には、縮退した励起光 P (キャリア角周波数  $\omega_p$ ) を用いた場合の構成を示す。また、4 光波混合光発生回路は、波長多重信号光の各波長を一括変換する波長変換回路にもなる。たとえば、4 光波混合光発生回路に波長多重された N 個の信号光  $S_1$  ~  $S_N$  (キャリア角周波数  $\omega_{s1}$  ~  $\omega_{sN}$ ) を入力すると、キャリア角周波数  $\omega_{r1}$  ~  $\omega_{rN}$  ( $\omega_{rj} = \omega_{p1} + \omega_{p2} - \omega_{sj}$ ,  $j = 1 \sim N$ ) の 4 光波混合光  $F_1$  ~  $F_N$  が発生し、波長多重信号光の各波長を一括変換することができる。図 2 3 には、縮退した励起光 P (キャリア角周波数  $\omega_p$ ) を用いた場合の構成を示す。

【0004】なお、図 2 1 ~ 図 2 3 に示す従来構成では、信号光 S、励起光  $P_1$ ,  $P_2$ , P、4 光波混合光 F のすべてが光非線形媒質 1 2 から同一方向に重なって出射されるので、4 光波混合光 F を取り出すためにキャリア角周波数  $\omega_r$  の光のみを通す波長フィルタ 1 3 が用いられる。

##### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで、信号光 S から 4 光波混合光 F への変換利得（4 光波混合光強度 / 信号光強度）を大きくするには、信号光と励起光のキャリア角周波数  $\omega_s$ ,  $\omega_{p1}$ ,  $\omega_{p2}$  を接近させ、励起光強度を大きくする必要があった。したがって、波長フィルタ 1 3 としては、4 光波混合光強度に対して通常大きな強度を有する励起光を抑圧し、かつ励起光とキャリア角周波数が接近した 4 光波混合光を通過させる性能が要求された。しかし、この場合、1 段の波長フィルタでは励起光を十分に抑圧することが困難であり、多数段組み合わせることによる損失の増加や構成の複雑化が避けられなかった。

【0006】また、従来の 4 光波混合光発生回路では、信号光 S のスペクトルが反転した位相共役光（4 光波混合光 F）が生成される際に、キャリア角周波数が上記の例では  $\omega_s$  から  $\omega_r$  ( $= \omega_{p1} + \omega_{p2} - \omega_s$ ) にシフトする。このため、位相共役光発生回路として光ファイバ伝送路中で用いる場合には、その前後における信号光と位相共役光に対する波長分散値の変化が避けられなかつた。

【0007】また、波長多重信号光の一括波長変換回路として用いる場合には、2 つの信号光  $S_m$ ,  $S_n$  のキャリア角周波数  $\omega_{sm}$ ,  $\omega_{sn}$  と励起光  $P_1$ ,  $P_2$  のキャリア角周波数  $\omega_{p1}$ ,  $\omega_{p2}$  が、  
 $\omega_{sm} + \omega_{sn} = \omega_{p1} + \omega_{p2}$

の関係にあれば、4 光波混合光  $F_m$ ,  $F_n$  のキャリア角周波数は、入れ替わって  $\omega_{sn}$ ,  $\omega_{sm}$  となり、信号光のキャリア角周波数の交換と同等の効果が得られる。しかし、従来の 4 光波混合光発生回路では、信号光  $S_m$  と 4 光波混合光  $F_n$ 、信号光  $S_n$  と 4 光波混合光  $F_m$  のキャリア角周波数が同じになり、波長フィルタ 1 3 で分離す

ることが不可能であった。

【0008】本発明は、波長フィルタ等の波長分離手段を用いずに、4光波混合光（波長変換光、位相共役光）を信号光および励起光から分離して取り出すことができる4光波混合光発生回路およびそれを用いた光回路を提供することを目的とする。

#### 【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の4光波混合光発生回路は、 $2 \times 2$ の光分岐結合器のポート③と光非線形媒質とを所定の長さと伝搬定数を有する分散性媒質で接続し、ポート④と光非線形媒質とを所定の長さと伝搬定数を有する分散性媒質で接続し、信号光S（キャリア角周波数 $\omega_s$ ）と励起光 $P_1, P_2$ （キャリア角周波数 $\omega_{p1}, \omega_{p2}$ ）を光分岐結合器20のポート①から入射し、ポート②から光非線形媒質で発生した4光波混合光（キャリア角周波数 $\omega_f = \omega_{p1} + \omega_{p2} - \omega_s$ ）を取り出す。

#### 【0010】

##### 【発明の実施の形態】

（請求項1の実施形態）図1は、請求項1の4光波混合光発生回路の実施形態を示す。図において、 $2 \times 2$ の光分岐結合器20のポート③、④を接続する分散性媒質中に光非線形媒質12が挿入される。ここで、ポート③と光非線形媒質12とを接続する分散性媒質21の長さを $L_1$ 、伝搬定数を $K_1(\omega)$ とし、ポート④と光非線形媒質12とを接続する分散性媒質22の長さを $L_2$ 、伝搬定数を $K_2(\omega)$ とする。

$$A_{sR} = A_s \exp(-i K_1(\omega_s) L_1) \quad \dots(1)$$

$$A_{p1R} = A_{p1} \exp(-i K_1(\omega_{p1}) L_1) \quad \dots(2)$$

$$A_{p2R} = A_{p2} \exp(-i K_1(\omega_{p2}) L_1) \quad \dots(3)$$

と表される。

【0013】一方、光分岐結合器20のポート④に分岐された信号光Sおよび励起光 $P_1, P_2$ は、分散性媒質22 $\rightarrow$ 光非線形媒質12 $\rightarrow$ 分散性媒質21 $\rightarrow$ ポート③の※

$$A_{sL} = A_s \exp(-i K_2(\omega_s) L_2 - i \pi/2) \quad \dots(4)$$

$$A_{p1L} = A_{p1} \exp(-i K_2(\omega_{p1}) L_2 - i \pi/2) \quad \dots(5)$$

$$A_{p2L} = A_{p2} \exp(-i K_2(\omega_{p2}) L_2 - i \pi/2) \quad \dots(6)$$

と表される。

【0014】光非線形媒質12中では、信号光Sと励起光 $P_1, P_2$ が右回りと左回りでそれぞれ同時に伝搬することで誘起される3次の光パラメトリック効果により、キャリア角周波数 $\omega_f (= \omega_{p1} + \omega_{p2} - \omega_s)$ の4光波混合光Fが発生する。この右回り成分と左回り成分は、再び光分岐結合器20に入射して干渉する。ただし、信号光Sおよび励起光 $P_1, P_2$ は、光非線形媒質12および分散性媒質21、22中で波長分散による位相変化を受け、光非線形媒質12中で非線形効果（自己位相変調、★

$$\begin{aligned} A_{fR} &= C A_{sR}^* A_{p1R} A_{p2R} \\ &= C A_s^* A_{p1} A_{p2} \exp[i(K_1(\omega_s) - K_1(\omega_{p1}) - K_1(\omega_{p2})) L_1] \end{aligned} \quad \dots(7)$$

と表される。また(4),(5),(6)式で示される左回りの信号光Sと励起光 $P_1, P_2$ から発生する右回りの4光波混

\*質12とを接続する分散性媒質22の長さを $L_2$ 、伝搬定数を $K_2(\omega)$ とする。光分岐結合器20は、キャリア角周波数 $\omega_s, \omega_{p1}, \omega_{p2}, \omega_f (= \omega_{p1} + \omega_{p2} - \omega_s)$ の光を等しい強度および等しい偏波で分岐する特性を有する。

【0011】キャリア角周波数 $\omega_s$ の信号光Sとキャリア角周波数 $\omega_{p1}, \omega_{p2}$ の励起光 $P_1, P_2$ は光分岐結合器20のポート①から入射され、それぞれ等しい強度および等しい偏波でポート③、④に分岐される。ただし、ポート①に対してクロスポートとなるポート④から出射される信号光Sおよび励起光 $P_1, P_2$ は、スルーポートとなるポート③から出射される信号光Sおよび励起光 $P_1, P_2$ に対して光の位相が90度遅れる。したがって、ポート③における信号光Sの複素電界振幅を $A_s$ とし、励起光 $P_1, P_2$ の複素電界振幅を $A_{p1}, A_{p2}$ とすると、ポート④における信号光Sの複素電界振幅は $A_s \exp(-i \pi/2)$ となり、励起光 $P_1, P_2$ の複素電界振幅は $A_{p1} \exp(-i \pi/2), A_{p2} \exp(-i \pi/2)$ となる。

【0012】このように、光分岐結合器20のポート③に分岐された信号光Sおよび励起光 $P_1, P_2$ は、分散性媒質21 $\rightarrow$ 光非線形媒質12 $\rightarrow$ 分散性媒質22 $\rightarrow$ ポート④の順に右回りで伝搬する。ここで、ポート③から分散性媒質21を介して光非線形媒質12に入射される右回りの信号光Sの複素電界振幅 $A_{sR}$ および励起光 $P_1, P_2$ の複素電界振幅 $A_{p1R}, A_{p2R}$ は、

$$\dots(1)$$

$$\dots(2)$$

$$\dots(3)$$

※順に左回りで伝搬する。ここで、ポート④から分散性媒質22を介して光非線形媒質12に入射される左回りの信号光Sの複素電界振幅 $A_{sL}$ および励起光 $P_1, P_2$ の複素電界振幅 $A_{p1L}, A_{p2L}$ は、

$$\dots(4)$$

$$\dots(5)$$

$$\dots(6)$$

★相互位相変調）による位相変化を受けるが、右回りと左回りによる位相差は生じない。したがって、本回路は、信号光Sおよび励起光 $P_1, P_2$ に対して、いわゆる光ループミラーとして動作し（D.B.Mortimore, "Fiberloop reflectors", IEEE Journal of Lightwave Technology, vol.6, pp.1217-1224, 1988）、信号光Sおよび励起光 $P_1, P_2$ はポート①に100%出射される。

【0015】一方、(1),(2),(3)式で示される右回りの信号光Sと励起光 $P_1, P_2$ から発生する右回りの4光波混合光Fの複素電界振幅 $A_{fR}$ は、

合光Fの複素電界振幅 $A_{fL}$ は、

$$\begin{aligned}
 A_{\text{RL}} &= C A_{sL}^* A_{p1L} A_{p2L} \\
 &= C A_s^* A_{p1} A_{p2} \exp[i(K_2(\omega_s) - K_2(\omega_{p1}) - K_2(\omega_{p2}))L_2 - i\pi/2] \\
 &\quad \cdots(8)
 \end{aligned}$$

と表される。なお、Cは変換効率（4光波混合光Fの強度／（信号光Sの強度×励起光P<sub>1</sub>の強度×励起光P<sub>2</sub>の強度））の平方根である。

$$\begin{aligned}
 A_4 &= A_{\text{RF}} \exp(-iK_2(\omega_f)L_2) \\
 &= C A_s^* A_{p1} A_{p2} \exp[-i(K_1(\omega_f)L_1 + K_2(\omega_f)L_2)] \exp(i\Delta K_1 L_1) \\
 &\quad \cdots(9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_3 &= A_{\text{RL}} \exp(-iK_1(\omega_f)L_1) \\
 &= C A_s^* A_{p1} A_{p2} \exp[-i(K_1(\omega_f)L_1 + K_2(\omega_f)L_2)] \exp(i\Delta K_2 L_2 - i\pi/2) \\
 &\quad \cdots(10)
 \end{aligned}$$

と表される。なお、

$$\Delta K_1 = K_1(\omega_s) + K_1(\omega_f) - K_1(\omega_{p1}) - K_1(\omega_{p2}) \quad \cdots(11)$$

$$\Delta K_2 = K_2(\omega_s) + K_2(\omega_f) - K_2(\omega_{p1}) - K_2(\omega_{p2}) \quad \cdots(12)$$

である。

【0017】光分岐結合器20ではこの右回りと左回り※

\*【0016】この右回りと左回りの4光波混合光Fがそれぞれ分散性媒質22, 21を介してポート④, ③に到達したときの複素電界振幅A<sub>4</sub>, A<sub>3</sub>は、

$$\begin{aligned}
 A_1 &\propto A_3 + A_4 \exp(-i\pi/2) \\
 &\propto \exp(i\Delta K_2 L_2) + \exp(i\Delta K_1 L_1) \\
 &\quad \cdots(13)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_2 &\propto A_3 \exp(-i\pi/2) + A_4 \\
 &\propto -\exp(i\Delta K_2 L_2) + \exp(i\Delta K_1 L_1) \\
 &\quad \cdots(14)
 \end{aligned}$$

と表される。したがって、分散性媒質21, 22が

$$\Delta K_2 L_2 = \Delta K_1 L_1 + (2n - 1)\pi \quad (n \text{は整数}) \quad \cdots(15)$$

となる条件を満たすとき、4光波混合光Fをポート②に100%出射させることができ、ポート①に出射される信号光Sおよび励起光P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>と完全に分離することができる。

$$\Delta K_2 L_2 = \Delta K_1 L_1 + (2n - 1 \pm \alpha)\pi \quad (n \text{は整数}) \quad \cdots(16)$$

となる。その場合には、許容誤差 $\alpha$ に応じてポート②に出射される4光波混合光Fのレベルは低下するが、ポート①に出射される信号光Sおよび励起光P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>に対する干渉条件は変わらず、アイソレーションには影響がないので実用上の問題はない。

【0019】以上のように4光波混合光発生回路を構成し、(15), (16)式に示す条件を満たす分散性媒質21, 22を用いることにより、波長フィルタ等の波長分離手段を用いることなく、光非線形媒質12で発生した4光波混合光Fと信号光Sおよび励起光P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>とを分離することができる。なお、信号光Sおよび励起光P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>に雑音光成分が含まれる場合も、雑音光成分はポート①から信号光Sおよび励起光P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>とともに射出されるので、4光波混合光Fに混入することはない。

【0020】(請求項2の実施形態) 図2は、請求項2の4光波混合光発生回路の実施形態を示す。4光波混合光発生回路の構成は、図1のものと同じである。ここでは、 $\omega_s$ と $\omega_f$ が $(\omega_{p1} + \omega_{p2})/2$ に関して対称となり、発生した4光波混合光Fが位相共役光となることを示す。図のように、信号光Sと励起光P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>のキャリヤー

$$A_{s,jR} = A_{s,j} \exp(-iK_1(\omega_{s,j})L_1) \quad \cdots(1')$$

と表される。

★【0018】縮退した励起光を用いる場合には、上記の式を $\omega_{p1} = \omega_{p2}$ ,  $A_{p1} = A_{p2}$ とおけばよい。なお、(15)式に示す条件に所定の許容誤差 $\alpha$  ( $0 \leq \alpha < 1/2$ ) を認める。

$$\star \Delta K_2 L_2 = \Delta K_1 L_1 + (2n - 1 \pm \alpha)\pi \quad (n \text{は整数}) \quad \cdots(16)$$

★ア角周波数を $\omega_{p1} < \omega_s < \omega_{p2}$ とし、 $\omega_s = (\omega_{p1} + \omega_{p2})/2$ とすると、信号光Sと4光波混合光(位相共役光)Fのキャリア角周波数が一致する。この場合でも、信号光Sと4光波混合光(位相共役光)Fの分離は、上述した原理により可能である。

【0021】(請求項3の実施形態) 図3は、請求項3の4光波混合光発生回路の実施形態を示す。4光波混合光発生回路の構成は図1のものと同じである。ここでは、キャリア角周波数 $\omega_{s,j}$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ ) の波長多重信号光S<sub>j</sub>と、キャリア角周波数 $\omega_{p1}, \omega_{p2}$ の励起光P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>を光分岐結合器20のポート①から入射する。ただし、各信号光の強度は、信号光相互の非線形相互作用が無視できる程度に設定する。

【0022】光分岐結合器20のポート③に分岐された波長多重信号光S<sub>j</sub>と励起光P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>は、分散性媒質21→光非線形媒質12→分散性媒質22→ポート④の順に右回りで伝搬する。ここで、ポート③から分散性媒質21を介して光非線形媒質12に入射される右回りの波長多重信号光S<sub>j</sub>の複素電界振幅A<sub>s,jR</sub>は、

$$A_{s,jR} = A_{s,j} \exp(-iK_1(\omega_{s,j})L_1) \quad \cdots(1')$$

50 【0023】一方、光分岐結合器20のポート④に分岐

された波長多重信号光  $S_j$  と励起光  $P_1, P_2$  は、分散性媒質 2 2 → 光非線形媒質 1 2 → 分散性媒質 2 1 → ポート ③の順に左回りで伝搬する。ここで、ポート④から分散\*

$$A_{s,jL} = A_{s,j} \exp(-i K_2(\omega_{s,j}) L_2 - i \pi/2) \quad \dots(4')$$

と表される。

【0024】光非線形媒質 1 2 中では、波長多重信号光  $S_j$  と励起光  $P_1, P_2$  が右回りと左回りでそれぞれ同時に伝搬することで誘起される 3 次の光パラメトリック効果により、キャリア角周波数  $\omega_{r,j}$  ( $= \omega_{p1} + \omega_{p2} - \omega_{s,j}$ ) の波長多重された 4 光波混合光  $F_j$  が発生する。※10

$$A_{r,jR} = C A_{s,j}^* A_{p1} A_{p2} \exp[i(K_1(\omega_{s,j}) - K_1(\omega_{p1}) - K_1(\omega_{p2})) L_1] \quad \dots(7')$$

と表される。また左回りの波長多重信号光  $S_j$  と励起光  $P_1, P_2$  から発生する左回りの波長多重された 4 光波混★

$$A_{r,jL} = C A_{s,j}^* A_{p1} A_{p2} \exp[i(K_2(\omega_{s,j}) - K_2(\omega_{p1}) - K_2(\omega_{p2})) L_2 - i \pi/2] \quad \dots(8')$$

と表される。

【0026】この右回りと左回りの波長多重された 4 光波混合光  $F_j$  がそれぞれ分散性媒質 2 2, 2 1 を介して☆

$$A_{4,j} = C A_{s,j}^* A_{p1} A_{p2} \exp[-i(K_1(\omega_{r,j}) L_1 + K_2(\omega_{r,j}) L_2)] \exp(i \Delta K_{1,j} L_1) \quad \dots(9')$$

$$A_{3,j} = C A_{s,j}^* A_{p1} A_{p2} \exp[-i(K_1(\omega_{r,j}) L_1 + K_2(\omega_{r,j}) L_2)] \exp(i \Delta K_{2,j} L_2 - i \pi/2) \quad \dots(10')$$

と表される。なお、

$$\Delta K_{1,j} = K_1(\omega_{s,j}) + K_1(\omega_{r,j}) - K_1(\omega_{p1}) - K_1(\omega_{p2}) \quad \dots(11')$$

$$\Delta K_{2,j} = K_2(\omega_{s,j}) + K_2(\omega_{r,j}) - K_2(\omega_{p1}) - K_2(\omega_{p2}) \quad \dots(12')$$

である。

【0027】光分岐結合器 2 0 では、この右回りと左回りの 4 光波混合光  $F_j$  が各波長ごとに干渉し、ポート ◆

$$A_{1,j} \propto \exp(i \Delta K_{2,j} L_2) + \exp(i \Delta K_{1,j} L_1) \quad \dots(13')$$

$$A_{2,j} \propto -\exp(i \Delta K_{2,j} L_2) + \exp(i \Delta K_{1,j} L_1) \quad \dots(14')$$

と表される。したがって、分散性媒質 2 1, 2 2 が

$$\Delta K_{2,j} L_2 = \Delta K_{1,j} L_1 + (2n-1)\pi \quad (n \text{ は整数}) \quad \dots(15')$$

となる条件を満たすとき、波長多重された 4 光波混合光  $F_j$  をポート②に 100% 出射させることができ、ポート①に 出射される波長多重信号光  $S_j$  および励起光  $P_1, P_2$  と完全に分離することができる。

$$\Delta K_{2,j} L_2 = \Delta K_{1,j} L_1 + (2n-1 \pm \alpha)\pi \quad (n \text{ は整数}) \quad \dots(16')$$

となる。その場合には、許容誤差  $\alpha$  に応じてポート②に 出射される波長多重された 4 光波混合光  $F_j$  のレベルは 40 低下するが、ポート①に 出射される波長多重信号光  $S_j$  と励起光  $P_1, P_2$  に対する干渉条件は変わらず、アイソレーションには影響がないので実用上の問題はない。

【0029】以上のように 4 光波混合光発生回路を構成し、(15'), (16') 式に示す条件を満たす分散性媒質 2 1, 2 2 を用いることにより、波長フィルタ等の波長分離手段を用いることなく、波長多重信号光  $S_j$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ ) の各波長を一括変換した 4 光波混合光  $F_j$  を、波長多重信号光  $S_j$  および励起光  $P_1, P_2$  から分離して取り出すことができる。

\*性媒質 2 2 を介して光非線形媒質 1 2 に入射される左回りの波長多重信号光  $S_j$  の複素電界振幅  $A_{s,jL}$  は、

※この右回り成分と左回り成分は、再び光分岐結合器 2 0 に入射して干渉し、波長多重信号光  $S_j$  と励起光  $P_1, P_2$  はポート①に 100% 出射される。

【0025】一方、右回りの波長多重信号光  $S_j$  と励起光  $P_1, P_2$  から発生する右回りの波長多重された 4 光波混合光  $F_j$  の複素電界振幅  $A_{r,jR}$  は、

$$A_{r,jR} = C A_{s,j}^* A_{p1} A_{p2} \exp[i(K_1(\omega_{s,j}) - K_1(\omega_{p1}) - K_1(\omega_{p2})) L_1] \quad \dots(7')$$

★合光  $F_j$  の複素電界振幅  $A_{r,jL}$  は、

☆ポート④, ③に到達したときの複素電界振幅  $A_{4,j}, A_{3,j}$  は、

◆①, ②に 出射される波長多重された 4 光波混合光  $F_j$  の複素電界振幅  $A_{1,j}, A_{2,j}$  は、

$$A_{1,j} \propto \exp(i \Delta K_{2,j} L_2) + \exp(i \Delta K_{1,j} L_1) \quad \dots(13')$$

$$A_{2,j} \propto -\exp(i \Delta K_{2,j} L_2) + \exp(i \Delta K_{1,j} L_1) \quad \dots(14')$$

と表される。したがって、分散性媒質 2 1, 2 2 が

$$\Delta K_{2,j} L_2 = \Delta K_{1,j} L_1 + (2n-1)\pi \quad (n \text{ は整数}) \quad \dots(15')$$

\* 【0028】縮退した励起光を用いる場合には、上記の式を  $\omega_{p1} = \omega_{p2}, A_{p1} = A_{p2}$  とおけばよい。なお、(15') 式に示す条件に所定の許容誤差  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha < 1/2$ ) を認める。

$$\Delta K_{2,j} L_2 = \Delta K_{1,j} L_1 + (2n-1 \pm \alpha)\pi \quad (n \text{ は整数}) \quad \dots(16')$$

【0030】また、2つの信号光  $S_m, S_n$  のキャリア角周波数  $\omega_{sm}, \omega_{sn}$  と、励起光  $P_1, P_2$  のキャリア角周波数  $\omega_{p1}, \omega_{p2}$  が、  
 $\omega_{sm} + \omega_{sn} = \omega_{p1} + \omega_{p2}$  の関係にあれば、発生する 4 光波混合光  $F_m, F_n$  のキャリア角周波数は入れ替わって  $\omega_{sn}, \omega_{sm}$  となり、2つの信号光  $S_m, S_n$  の波長交換が行われる。

【0031】ところで、光非線形媒質 1 2 では、キャリア角周波数  $\omega_{p1} + \omega_{p2} - \omega_{s,j}$  の 4 光波混合光  $F_j$  の他に、励起光  $P_1, P_2$  をそれぞれ縮退した励起光として、キャリア角周波数  $2\omega_{p1} - \omega_{s,j}, 2\omega_{p2} - \omega_{s,j}$  の不要な 4 光波混合光が  $\omega_{p1} - \omega_{p2}$  の間隔で発生する。4 光波混

合光  $F_s$  と不要な 4 光波混合光との間を遠ざけ分離を容易にするには、図 4 に示すように、波長多重信号光  $S_s$  と励起光  $P_1, P_2$  のキャリア角周波数を

$$\omega_{p1} < \omega_{s,j} < \omega_{p2}$$

のように設定すればよい（請求項 4）。このとき、非縮退励起光に対する 4 光波混合光  $F_s$  は、 $\omega_{p1}$  と  $\omega_{p2}$  の間にキャリア角周波数  $\omega_{p1} + \omega_{p2} - \omega_{s,j}$  で発生する。一方、縮退励起光に対する不要な 4 光波混合光は、 $\omega_{p1}$  と  $\omega_{p2}$  の外側にキャリア角周波数  $2\omega_{p1} - \omega_{s,j}$ ,  $2\omega_{p2} - \omega_{s,j}$  で発生する。これにより、両者を容易に分離することができる。

### 【0032】

【実施例】以下、請求項 1 の 4 光波混合光発生回路を「4 光波混合光発生回路」といい、請求項 2 の 4 光波混合光発生回路を「位相共役光発生回路」といい、請求項 3, 4 の 4 光波混合光発生回路を「波長多重信号光の一括波長変換回路」という。

（縮退励起光を用いた構成）図 5 は、縮退励起光を用いた 4 光波混合光発生回路の実施例構成を示す。

【0033】本実施例の特徴は、図 1 の構成において、縮退した励起光、すなわちキャリア角周波数が  $\omega_p = \omega_{p1} = \omega_{p2}$  の励起光  $P$  を用いるところにある。本実施例では、キャリア角周波数  $\omega_s$  の信号光  $S$  およびキャリア角周波数  $\omega_p$  の励起光  $P$  を光分岐結合器 20 のポート①から入射すると、光非線形媒質 12 中でキャリア角周波数  $\omega_r (= 2\omega_p - \omega_s)$  の 4 光波混合光  $F$  が発生する。この 4 光波混合光  $F$  は光分岐結合器 20 のポート②から出射され、信号光  $S$  および励起光  $P$  がポート①から出射される。

【0034】図 6 は、縮退励起光を用いた波長多重信号光の一括波長変換回路の実施例構成を示す。本実施例の特徴は、図 3 の構成において、縮退した励起光、すなわちキャリア角周波数が  $\omega_p = \omega_{p1} = \omega_{p2}$  の励起光  $P$  を用いるところにある。本実施例では、キャリア角周波数  $\omega_{s,j}$  ( $j = 1, 2, \dots, N$ ) の波長多重信号光  $S_s$  およびキャリア角周波数  $\omega_p$  の励起光  $P$  を光分岐結合器 20 のポート①から入射すると、光非線形媒質 12 中でキャリア角周波数  $\omega_{r,j} (= 2\omega_p - \omega_{s,j})$  の 4 光波混合光  $F_s$  が発生する。この波長多重された 4 光波混合光  $F_s$  は光分岐結合器 20 のポート②から出射され、波長多重信号光  $S_s$  および励起光  $P$  がポート①から出射される。

【0035】なお、2 つの信号光  $S_m$ ,  $S_n$  のキャリア角周波数  $\omega_{sm}$ ,  $\omega_{sn}$  と、励起光  $P$  のキャリア角周波数  $\omega_p$  が、

$$\omega_{sm} + \omega_{sn} = 2\omega_p$$

の関係にあれば、発生する 4 光波混合光  $F_m$ ,  $F_n$  のキャリア角周波数は入れ替わって  $\omega_{sn}$ ,  $\omega_{sm}$  となり、2 つの信号光  $S_m$ ,  $S_n$  の波長交換が行われる。

【0036】（偏波保持型の構成）図 7 は、偏波保持型の 4 光波混合光発生回路の実施例構成を示す。本実施例

の特徴は、図 1 の構成の各部を偏波保持型とし、偏波保持型の光分岐結合器 23、偏波保持型の光非線形媒質 24、偏波保持型の分散性媒質 25, 26 を用いた構成にある。これは、図 2 に示す位相共役光発生回路および図 3, 図 4 に示す波長多重信号光の一括波長変換回路においても同様である。回路中における信号光および励起光の偏波状態の変動は、4 光波混合光に対する信号光および励起光の漏れ込みを引き起こす。そこで、各部を偏波保持型とすることにより、回路中の偏波クロストークを抑圧し、4 光波混合光に対する信号光および励起光のアイソレーションを向上させる。この偏波保持型部品には、偏波保持光ファイバ等の複屈折性素子を用い、これらの複屈折の主軸に沿った偏波状態の信号光および励起光を入射することにより、回路中の偏波状態は維持される。このような偏波保持手段に加えて、回路入出力部またはループ中に偏光子等の单一偏波素子を挿入する方法も効果的である。

【0037】（偏波分散補償手段を備えた構成）図 8 は偏波分散補償手段を備えた 4 光波混合光発生回路の実施例構成を示す。本実施例の特徴は、図 7 の偏波保持構成にそれぞれ複屈折導波路等の偏波分散補償手段 27 を設けた構成にある。これは、図 2 に示す位相共役光発生回路および図 3, 図 4 に示す波長多重信号光の一括波長変換回路においても同様である。

【0038】入力される信号光の偏波状態が変化すると、出力される 4 光波混合光の波形および強度が変化する。これは、偏波保持のために導入された回路部品の複屈折（偏波分散）が信号光波形に歪みを生じさせるためである。そこで、複屈折導波路等の偏波分散補償手段 27 を回路中に挿入し、偏波保持型の光非線形媒質 24 の 2 つの複屈折の主軸に対する信号光の変換利得を等しくする。たとえば、偏波保持光ファイバのような各偏波軸に対する変換効率が等しい偏波保持型の光非線形媒質 24 を用いる場合には、励起光を各偏波軸に 1:1 の強度比で入射する。また、半導体光增幅器のような 2 つの偏波軸に対する変換効率が異なるものを用いる場合には、各偏波軸に対する変換利得が等しくなるように励起光の強度比を設定する。これにより、偏波保持型の光分岐結合器 23、光非線形媒質 24 および分散性媒質 25, 26 中の偏波分散による 4 光波混合光の波形劣化を防ぐことができる。

【0039】なお、偏波分散補償手段 27 は、図に示すように 4 光波混合光の出射部（光分岐結合器 23 のポート②）に配置する他に、信号光および励起光の入射部（光分岐結合器 23 のポート①）、あるいはループ中（光分岐結合器 23 のポート③, ④間）に配置してもよい。また、特開平 6-67053 号公報（偏波無依存型光パルス分離回路および偏波無依存型光パルス多重回路）に示すように、ループ内の光非線形媒質 24 や分散性媒質 25, 26 を中点直交接続する方法をとってもよ

い。

【0040】(信号光と励起光の合波手段を備えた構成) 図9は、信号光と励起光の合波手段を備えた4光波混合光発生回路の実施例構成を示す。本実施例の特徴は、図1の構成において、光分岐結合器20のポート①の前段に、信号光Sおよび励起光P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>を結合する光合波器11を配置する構成にある。これは、図2に示す位相共役光発生回路および図3、図4に示す波長多重信号光の一括波長変換回路においても同様である。

【0041】なお、波長変換回路として用いる場合には、4光波混合光Fのキャリア角周波数 $\omega_f$ は、励起光P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>のキャリア角周波数 $\omega_{p1}$ ,  $\omega_{p2}$ を変えることにより同調可能である。

(戻り信号光および励起光を阻止する構成) 図10は、戻り信号光および励起光を阻止する4光波混合光発生回路の実施例構成を示す。

【0042】本実施例の特徴は、図1の構成において、光分岐結合器20のポート①から出射される信号光Sおよび励起光P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>を阻止する手段を備えた構成にある。これは、図2に示す位相共役光発生回路および図3、図4に示す波長多重信号光の一括波長変換回路においても同様である。信号光Sおよび励起光P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>は入力したポート①に戻る。このため、特に強い励起光P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>は信号光光源や励起光光源に悪影響を及ぼしかねない。そこで、信号光Sおよび励起光P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>を入射する光分岐結合器20のポート①に戻り光の阻止手段28を配置し、ポート①から出射される信号光Sおよび励起光P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>を阻止する。なお、戻り光の阻止手段28には、光アイソレータや光サーキュレータを用いることができる。

【0043】(4光波混合光に漏れ込んだ不要光成分の抑圧) 図11は、4光波混合光に漏れ込んだ不要光成分を抑圧する4光波混合光発生回路の実施例構成を示す。本実施例の特徴は、図1の構成において、光分岐結合器20のポート②から出射される4光波混合光Fに漏れ込んだ不要な光成分を抑圧する手段を備えた構成にある。これは、図2に示す位相共役光発生回路および図3、図4に示す波長多重信号光の一括波長変換回路においても同様である。

【0044】光分岐結合器20の分岐比(50%:50%)の非対称性や、光分岐結合器20、光非線形媒質12、分散性媒質21, 22中における信号光S, S<sub>1</sub> ~ S<sub>N</sub>および励起光P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>の偏波クロストークは、出射光に信号光や励起光が漏れ込む原因となる。また、キャリア角周波数 $\omega_s$ ,  $\omega_{p1}$ ,  $\omega_{p2}$ の信号光および励起光からキャリア角周波数 $\omega_f$ (= $\omega_{p1} + \omega_{p2} - \omega_s$ )の4光波混合光Fを発生させる場合に、それと同時にキャリア角周波数 $2\omega_{p1} - \omega_s$ ,  $2\omega_{p2} - \omega_s$ の4光波混合光も発生する。

【0045】そこで、4光波混合光FまたはF<sub>1</sub> ~ F<sub>N</sub>

を出射する光分岐結合器20のポート②にキャリア角周波数 $\omega_f$ または $\omega_{f1} \sim \omega_{fN}$ のみを通す波長フィルタ13を配置し、ポート②から出射される不要な光成分を抑圧する。

(角度変調励起光を用いた構成) 図12は、角度変調励起光を用いた位相共役光発生回路の実施例構成を示す。

【0046】図13は、角度変調励起光を用いた波長多重信号光の一括波長変換回路の実施例構成を示す。本実施例の特徴は、図2および図3の構成において、2つの励起光P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>に位相変調または周波数変調等の角度変調を加えることである。スペクトル幅の小さいCW励起光を用いると、光非線形媒質12および分散性媒質21, 22中で発生する誘導ブリルアン散乱光や誘導回折格子による非線形後方散乱光が光分岐結合器20のポート②から出力される。本実施例のように励起光に角度変調を加えて励起光スペクトルの帯域を広げることにより、後方散乱光発生の閾値強度が増大するので、強い励起光の入射が可能となる。特に、図12, 図13に示すように2つの励起光に互いに共役な角度変調を加えると、瞬時のキャリア角周波数( $\omega_{p1} + \omega_{p2}$ )/2が一定に保たれるので、発生する4光波混合光F, F<sub>3</sub>のキャリア角周波数の変動を防ぐことができる。

【0047】一般には、信号光の角度変調量 $\phi_s(t)$ (または $\phi_{s,j}(t)$ )と、励起光の角度変調量 $\phi_{p1}(t)$ ,  $\phi_{p2}(t)$ を

$$\phi_{p1}(t) + \phi_{p2}(t) - \phi_s(t) = 0 \quad (\text{または} \phi_{p1}(t) + \phi_{p2}(t) - \phi_{s,j}(t) = 0)$$

に設定すれば、発生する4光波混合光のキャリア角周波数の変動を防ぐことができる。

【0048】(強度変調励起光を用いた構成) 図14は、強度変調励起光を用いた位相共役光発生回路の実施例構成を示す。図15は、強度変調励起光を用いた波長多重信号光の一括波長変換回路の実施例構成を示す。本実施例の特徴は、図2および図3の構成において、2つの励起光P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>に信号光S(波長多重信号光S<sub>3</sub>)に同期した強度変調を加えることである。

【0049】本実施例によっても、図12, 図13に示す実施例と同様に後方散乱光の発生を抑圧することができる。さらに、本実施例では、平均励起光強度を一定にしたままピーク励起光強度を増加させることができる。なお、本実施例の強度変調と角度変調を併用することが可能である。図16は、本発明の位相共役光発生回路の実際の動作例を示す。

【0050】ここでは、偏波保持型の光非線形媒質24および分散性媒質25, 26として偏波保持光ファイバを用い、2つの励起光P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>に位相変調を加えた。

(a) は光分岐結合器23のポート①に入射する信号光Sおよび励起光P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>の時間-波長像であり、(b) は光分岐結合器23のポート②から出射される位相共役光Fの時間-波長像である。このように、信号光Sの波長と

同じ波長で位相共役光Fが発生可能である。

【0051】(光ゲート回路) 図17は、2入力の光ゲート回路(光AND回路)となる4光波混合光発生回路の実施例構成を示す。本実施例の特徴は、光合波器11で入力光パルスS<sub>in</sub>とゲート光パルスGを結合し、光アイソレータ28を介して光分岐結合器20のポート①に入力する構成により、2入力1出力の光ゲート回路(光AND回路)を実現したところにある。

【0052】本実施例では、キャリア角周波数 $\omega_s$ の信号光Sを入力光パルスS<sub>in</sub>とし、キャリア角周波数 $\omega_p$ の励起光Pをゲート光パルスGとし、キャリア角周波数 $\omega_r$ (=2 $\omega_p$ - $\omega_s$ )の4光波混合光Fを出力光パルスS<sub>out</sub>とする。この入力光パルスS<sub>in</sub>とゲート光パルスGが光非線形媒質12中で重なるように入射されたとき(タイムスロットt<sub>2</sub>)に出力光パルスS<sub>out</sub>が発生する。ただし、本実施例の光ゲート回路は波長変換( $\omega_s$ → $\omega_r$ )を伴う。

【0053】図18は、3入力の光ゲート回路(光AND回路)となる4光波混合光発生回路の実施例構成を示す。本実施例の特徴は、図17の光ゲート回路と同様の構成により、波長変換を伴わない3入力1出力の光ゲート回路(光AND回路)を実現したところにある。本実施例では、入力光パルスS<sub>in</sub>のキャリア角周波数 $\omega_s$ に対して、

$$2\omega_s = \omega_{p1} + \omega_{p2}$$

の関係を有するキャリア角周波数 $\omega_{p1}$ 、 $\omega_{p2}$ のゲート光パルスG<sub>1</sub>、G<sub>2</sub>を用いる。これにより、光非線形媒質12中で入力光パルスS<sub>in</sub>とゲート光パルスG<sub>1</sub>、G<sub>2</sub>が重なったときに発生する4光波混合光のキャリア角周波数は $\omega_s$ となる。すなわち、入力光パルスS<sub>in</sub>と、出力光パルスS<sub>out</sub>のキャリア角周波数は同じになる。ただし、キャリア角周波数 $\omega_s$ の入力光パルスS<sub>in</sub>は、ゲート光パルスG<sub>1</sub>、G<sub>2</sub>とともに光分岐結合器20のポート①に入射され、またポート①から出射される。一方、キャリア角周波数 $\omega_s$ の出力光パルスS<sub>out</sub>は、光分岐結合器20のポート②から出射される。

【0054】(光パルス分離回路) 図19は、光パルス分離回路となる4光波混合光発生回路の実施例構成を示す。本実施例の特徴は、図17の光ゲート回路を複数段接続することにより、時分割多重された光パルス信号を分離する光パルス分離回路を実現するところにある。

【0055】本実施例では、キャリア角周波数 $\omega_s$ の入力光パルスS<sub>in</sub>に対して、第1段の光ゲート回路ではキャリア角周波数 $\omega_p$ のゲート光パルスG<sub>1</sub>を入力し、そのタイムスロット(t<sub>2</sub>、t<sub>4</sub>)にキャリア角周波数 $\omega_r$ (=2 $\omega_p$ - $\omega_s$ )の出力光パルスS<sub>out1</sub>を出力させる。これにより、まずタイムスロット(t<sub>2</sub>、t<sub>4</sub>)の2チャネルを分離する。次に、このキャリア角周波数 $\omega_r$ の出力光パルスS<sub>out1</sub>に対して、第2段の光ゲート回路ではキャリア角周波数 $\omega_p$ のゲート光パルスG<sub>2</sub>を入力し、タイム

スロット(t<sub>4</sub>)にキャリア角周波数 $\omega_s$ (=2 $\omega_p$ - $\omega_r$ )の出力光パルスS<sub>out2</sub>を出力させる。これにより、最終的にゲート光パルスG<sub>1</sub>、G<sub>2</sub>が共にオンとなるタイムスロット(t<sub>4</sub>)の1チャネルが分離される。

【0056】なお、第1段の光ゲート回路では、キャリア角周波数 $\omega_s$ の入力光パルスS<sub>in</sub>からキャリア角周波数 $\omega_r$ の出力光パルス(4光波混合光)S<sub>out1</sub>が発生する。また、第2段の光ゲート回路では、キャリア角周波数 $\omega_r$ の出力光パルスS<sub>out1</sub>からキャリア角周波数 $\omega_s$ の出力光パルス(4光波混合光)S<sub>out2</sub>が発生する。これにより、入力光パルスS<sub>in</sub>と出力光パルスS<sub>out2</sub>の出入力関係は図18の3入力の光ゲート回路と同じで、ゲート光G<sub>1</sub>、G<sub>2</sub>の波長が1種類ですむ特徴がある。光ゲート回路の複数段接続は、図18の3入力の光ゲート回路にも適用可能である。

【0057】図20は、光パルス分離回路となる4光波混合光発生回路の実施例構成を示す。本実施例の特徴は、図17の光ゲート回路と、4波長分波型の光分波器29を組み合わせることにより、時分割多重された光パルス信号のうち4チャネルを一括して分離する光パルス分離回路を実現するところにある。

【0058】図において、キャリア角周波数 $\omega_s$ の入力光パルスS<sub>in</sub>に対して、各タイムスロットt<sub>k</sub>(k=1,2,3,4)ごとに異なるキャリア角周波数 $\omega_{pk}$ のゲート光パルスG<sub>k</sub>を入力し、各タイムスロットt<sub>k</sub>ごとにキャリア角周波数 $\omega_{fk}$ (=2 $\omega_{pk}$ - $\omega_s$ )の出力光パルスS<sub>outk</sub>を出力させる。この出力光パルスS<sub>out1</sub>、S<sub>out2</sub>、S<sub>out3</sub>、S<sub>out4</sub>は、光分波器29でキャリア角周波数 $\omega_{f1}$ 、 $\omega_{f2}$ 、 $\omega_{f3}$ 、 $\omega_{f4}$ ごとに分波することにより、4チャネルを一括して分離することができる。

【0059】なお、k=1,2,3,4に対して、関係式 $\{K_2(\omega_s) + K_2(\omega_{fk}) - 2K_2(\omega_{pk})\} L_2 = \{K_1(\omega_s) + K_1(\omega_{fk}) - K_1(\omega_{pk})\} L_1 + (2n-1 \pm \alpha)\pi$ が満足されるものとする。以上示した光パルス分離回路の実施例構成では、各タイムスロットにおいて縮退したゲート光による4光波混合を用いたが、縮退しないゲート光を用いても同様の効果を得ることができる。

【0060】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の4光波混合光発生回路は、波長フィルタ等の光合分波手段を用いることなく、所定の条件を満たす分散性媒質を用いることにより、発生した4光波混合光と信号光および励起光とを分離することができる。したがって、波長フィルタによる帯域制限を受けないので、超高速光信号の処理が可能となり、さらに信号光と励起光の波長を接近させて4光波混合光の発生効率を向上させることができる。

【0061】また、本発明の4光波混合光発生回路は、入射信号光のキャリア角周波数と等しい、または近接したキャリア角周波数の位相共役光を発生させ、信号光および励起光から分離して取り出すという、従来不可能で

あつた効果を得ることができる。さらに、本発明の4光波混合光発生回路は、波長多重信号光の一括波長変換にも適用でき、従来不可能であった波長多重信号光相互の波長交換を実現することができる。

【0062】なお、信号光および励起光に雑音光成分が含まれる場合も、雑音光成分は信号光および励起光とともにに出射され、4光波混合光（位相共役光、波長変換光）に不要な雑音が重畠されることはないので、4光波混合光のS/N比を向上させることができる。したがつて、本発明の4光波混合光発生回路を用いた光回路を構成することにより、高効率、高S/N比、広帯域の波長変換、位相共役光の発生（スペクトル反転）、全光スイッチング（光パルス分離）が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】請求項1の4光波混合光発生回路の実施形態を示す図。

【図2】請求項2の4光波混合光発生回路の実施形態を示す図。

【図3】請求項3の4光波混合光発生回路の実施形態を示す図。

【図4】請求項4の4光波混合光発生回路の実施形態を示す図。

【図5】縮退励起光を用いた4光波混合光発生回路の実施例構成を示す図。

【図6】縮退励起光を用いた波長多重信号光の一括波長変換回路の実施例構成を示す図。

【図7】偏波保持型の4光波混合光発生回路の実施例構成を示す図。

【図8】偏波分散補償手段を備えた4光波混合光発生回路の実施例構成を示す図。

【図9】信号光と励起光の合波手段を備えた4光波混合光発生回路の実施例構成を示す図。

【図10】戻り信号光および励起光を阻止する4光波混合光発生回路の実施例構成を示す図。

【図11】4光波混合光に漏れ込んだ不要光成分を抑圧する4光波混合光発生回路の実施例構成を示す図。

【図12】角度変調励起光を用いた位相共役光発生回路の実施例構成を示す図。

【図13】角度変調励起光を用いた波長多重信号光の一括波長変換回路の実施例構成を示す図。

【図14】強度変調励起光を用いた位相共役光発生回路の実施例構成を示す図。

【図15】強度変調励起光を用いた波長多重信号光の一括波長変換回路の実施例構成を示す図。

【図16】本発明の位相共役光発生回路の実際の動作例を示す図。

【図17】2入力の光ゲート回路（光AND回路）となる4光波混合光発生回路の実施例構成を示す図。

【図18】3入力の光ゲート回路（光AND回路）となる4光波混合光発生回路の実施例構成を示す図。

【図19】光パルス分離回路となる4光波混合光発生回路の実施例構成を示す図。

【図20】光パルス分離回路となる4光波混合光発生回路の実施例構成を示す図。

【図21】従来の4光波混合光発生回路の構成を示す図。

【図22】従来の位相共役光発生回路の構成を示す図。

【図23】従来の波長多重信号光の一括波長変換回路の構成を示す図。

【符号の説明】

1 1 光合波器

1 2 光非線形媒質

1 3 波長フィルタ ( $\omega_x$ )

2 0 光分岐結合器

2 1, 2 2 分散性媒質

30 2 3 偏波保持型の光分岐結合器

2 4 偏波保持型の光非線形媒質

2 5, 2 6 偏波保持型の分散性媒質

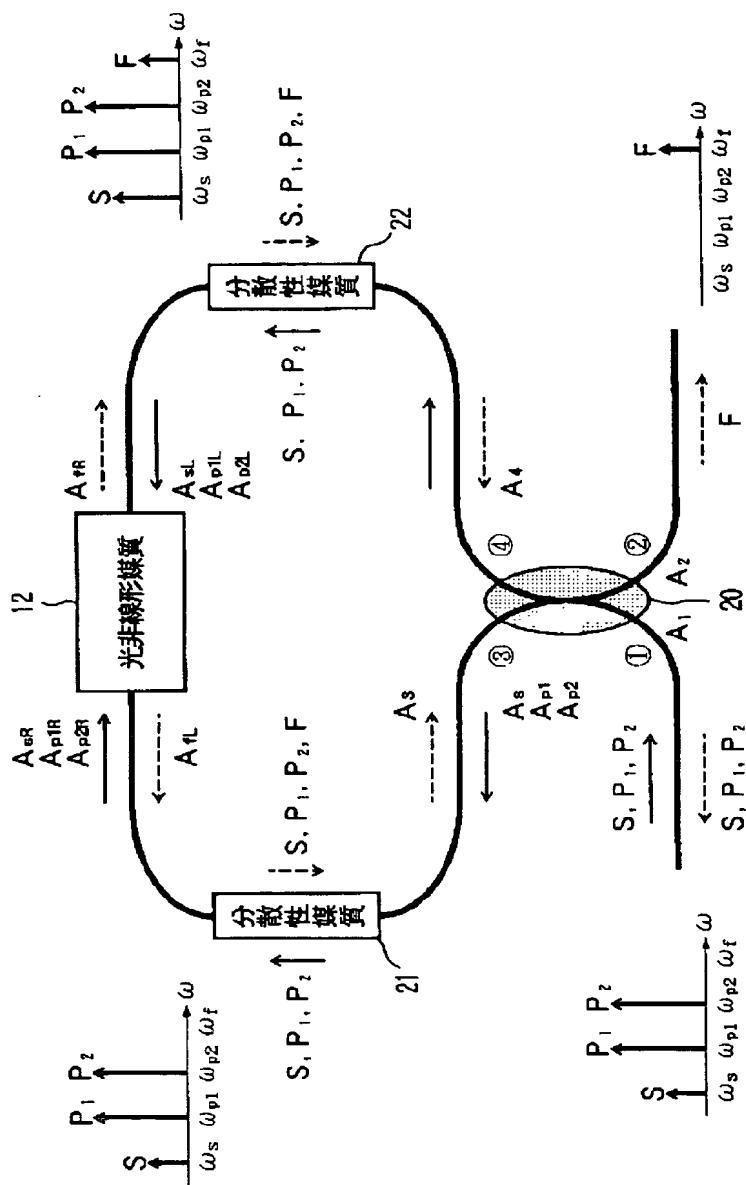
2 7 偏波分散補償手段

2 8 光アイソレータ

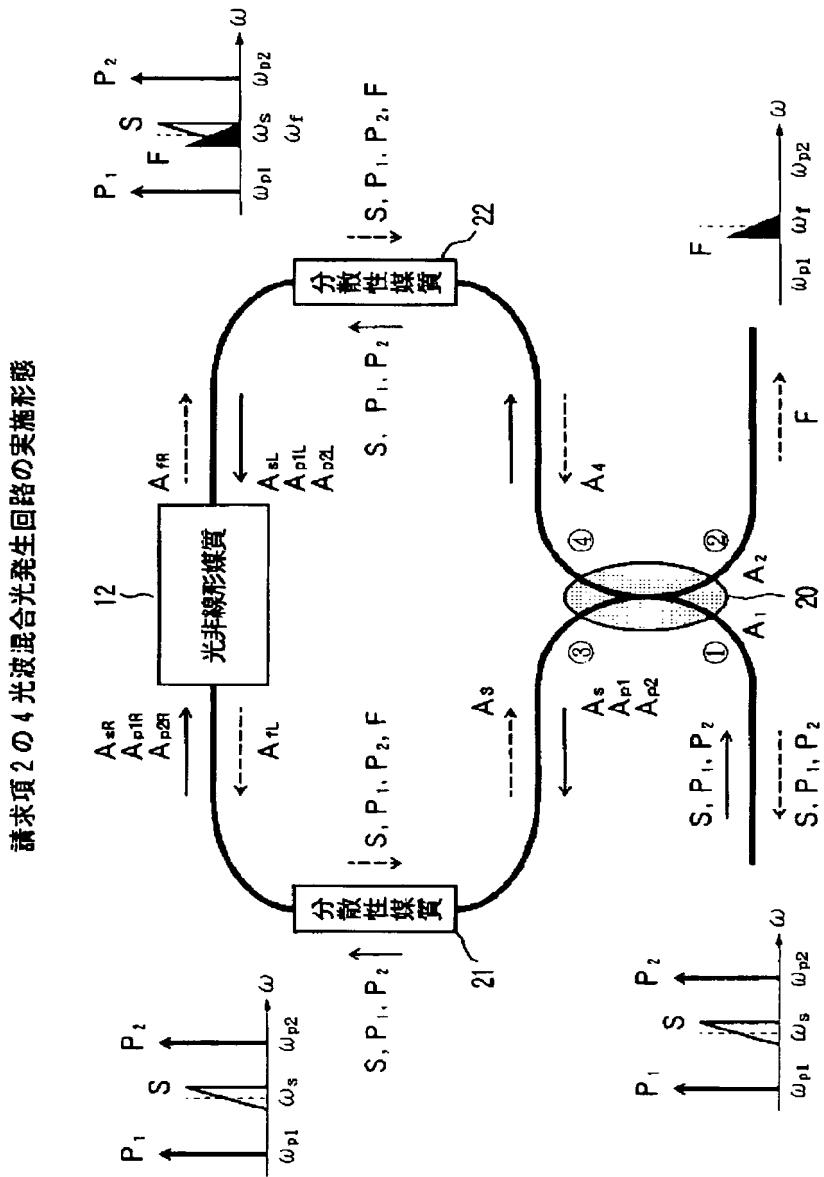
2 9 光分波器

【図1】

請求項1の4光波混合光発生回路の実施形態

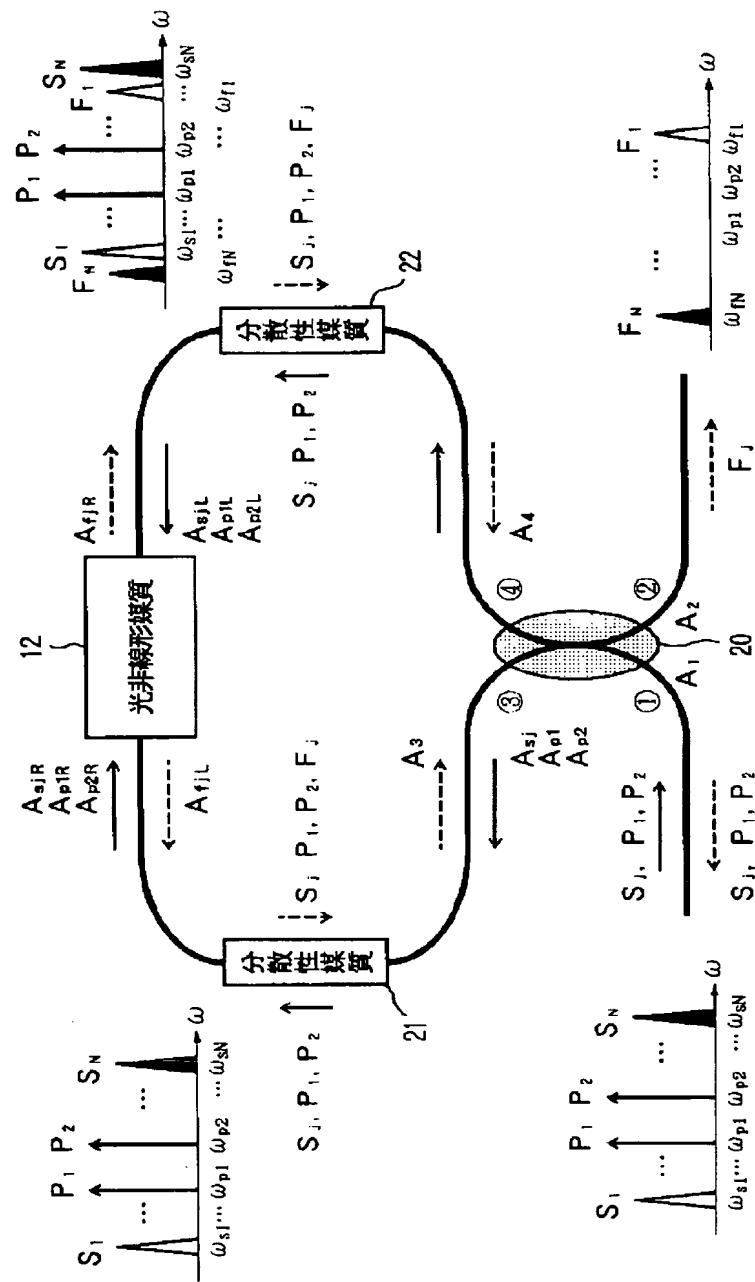


【図 2】

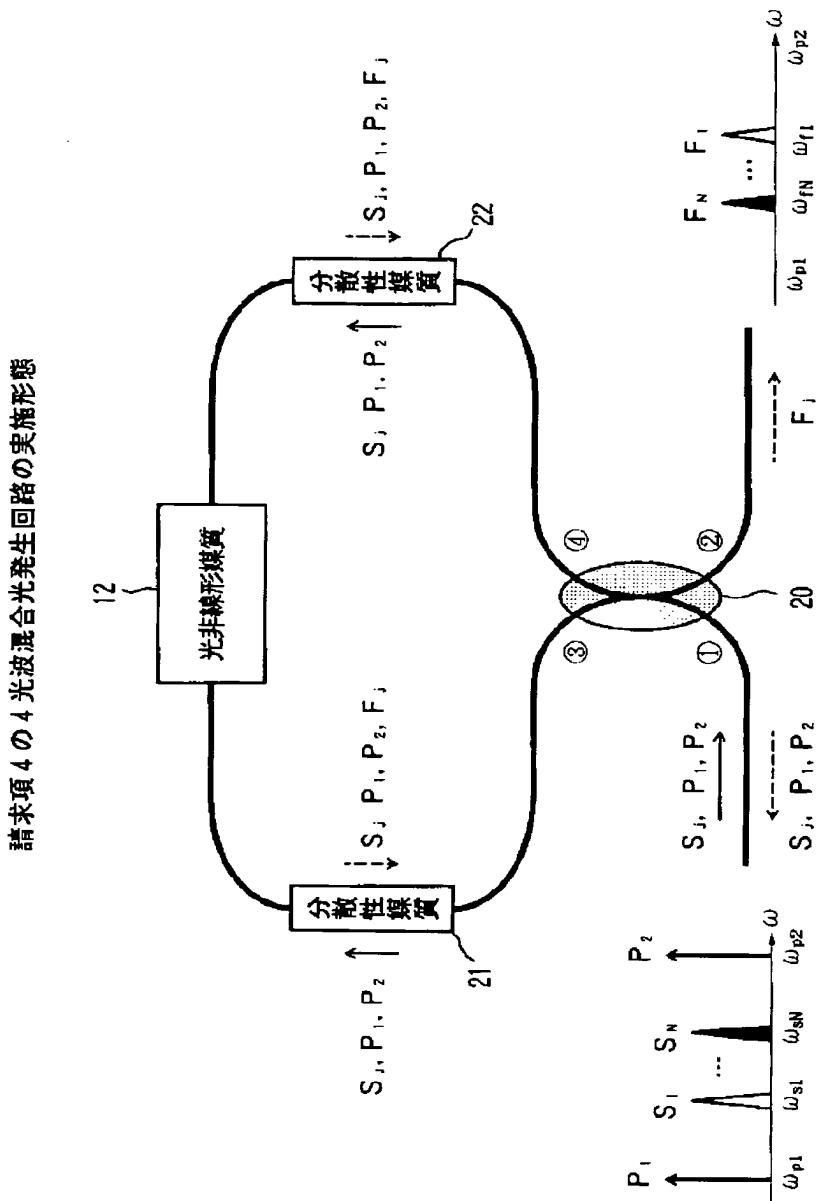


【図3】

請求項3の4光波混合光発生回路の実施形態



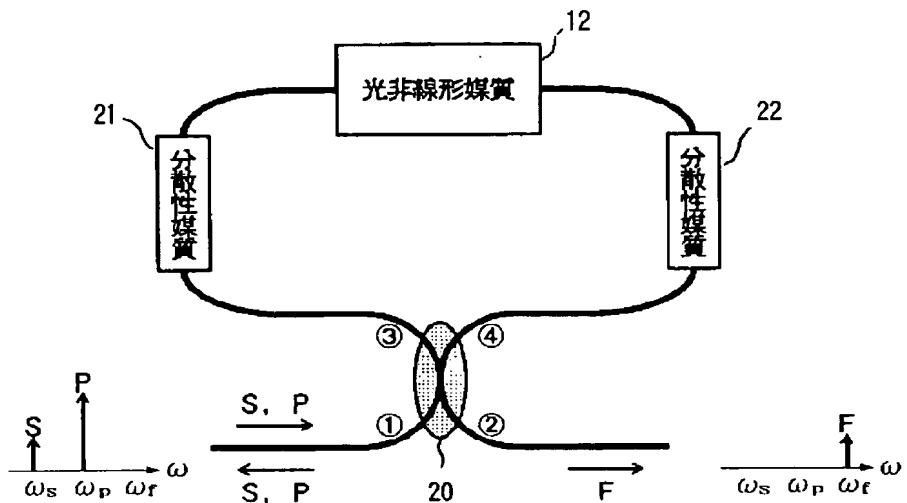
【図4】



#### 諸求項 4 の 4 光波混合光発生回路の実施形態

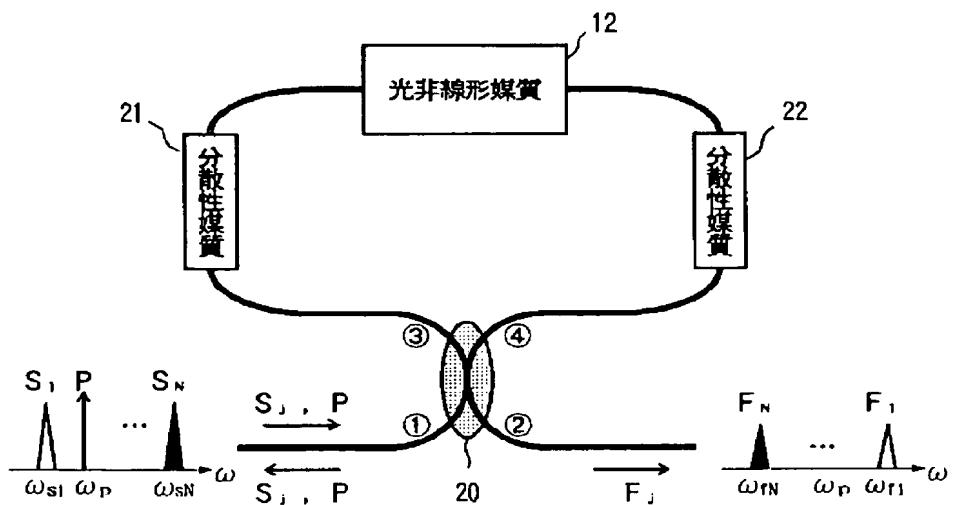
【図5】

## 縮退励起光を用いた4光波混合光発生回路の実施例構成



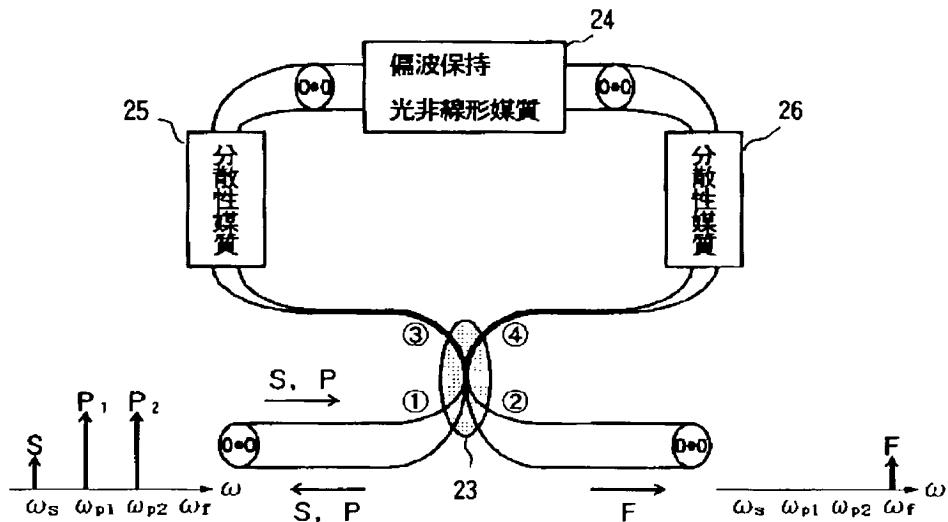
【図6】

## 縮退励起光を用いた波長多重信号光の一括波長変換回路の実施例構成



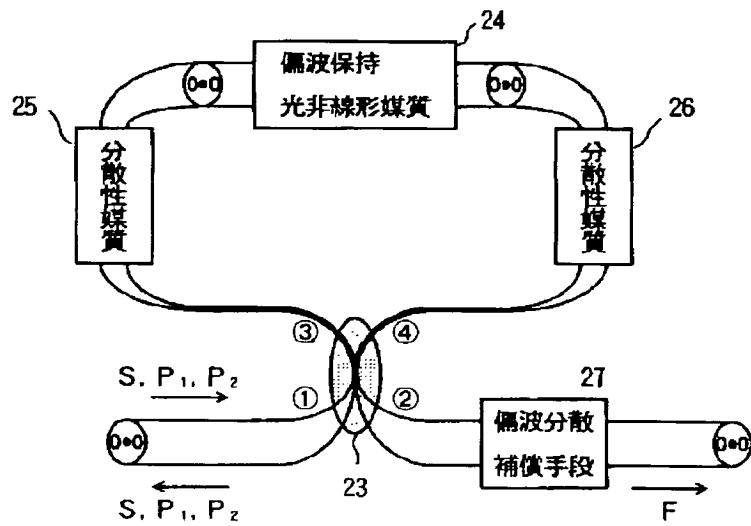
【図7】

## 偏波保持型の4光波混合光発生回路の実施例構成



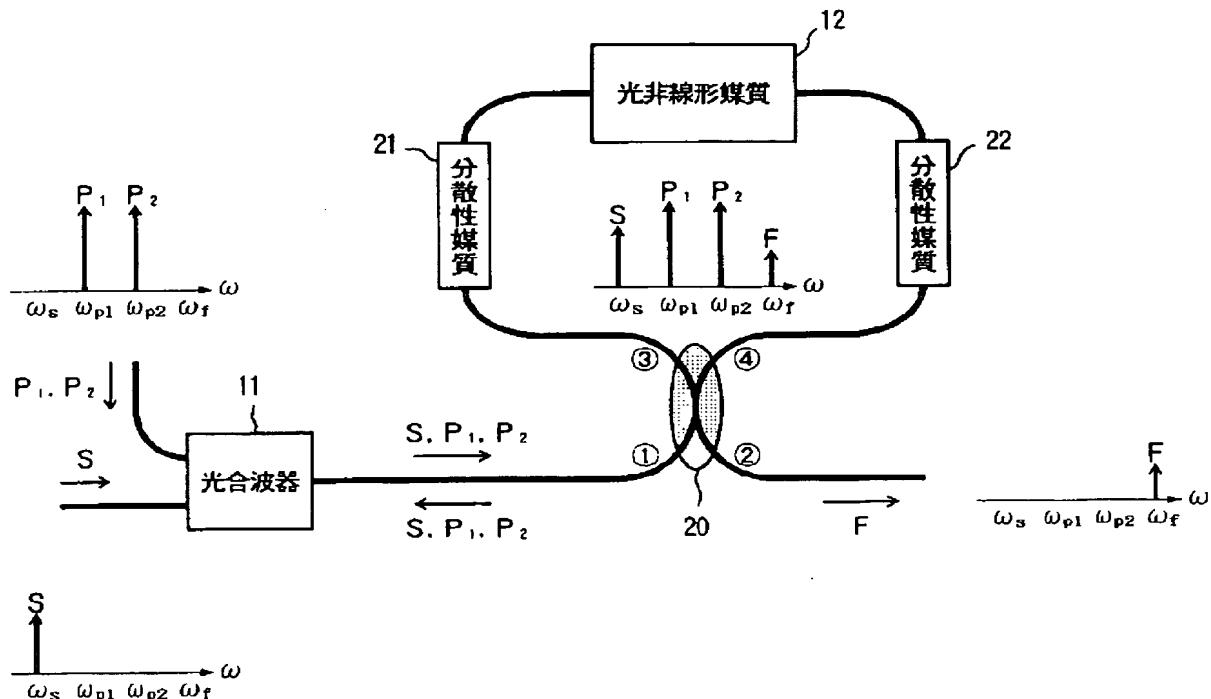
【図8】

## 偏波分散補償手段を備えた4光波混合光発生回路の実施例構成



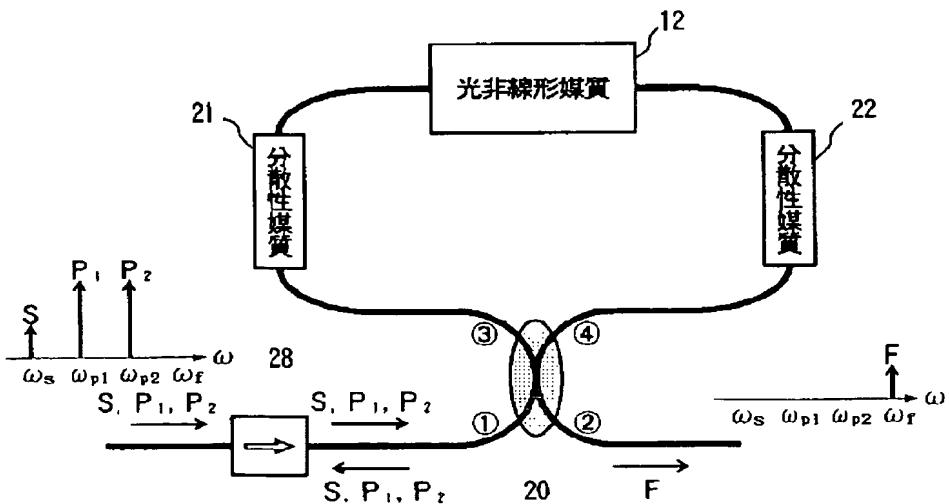
【図9】

信号光と励起光の合波手段を備えた4光波混合光発生回路の実施例構成



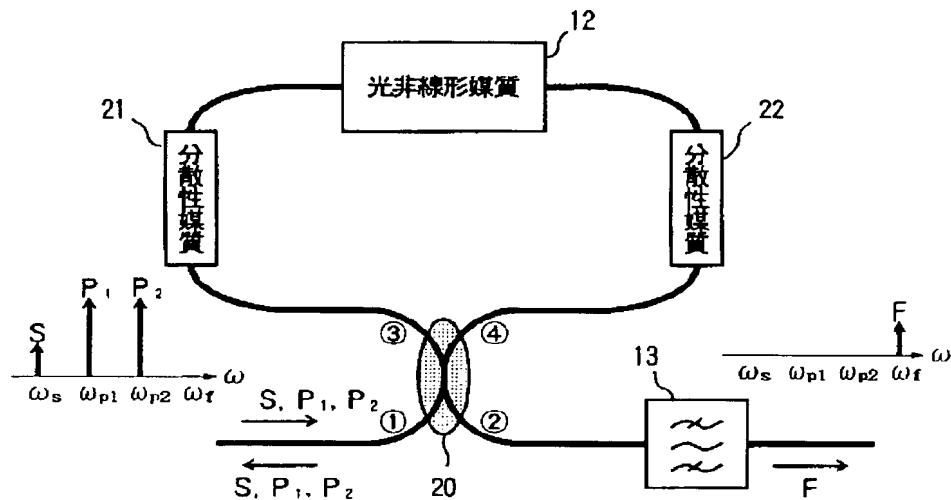
【図10】

戻り信号光および励起光を阻止する4光波混合光発生回路の実施例構成

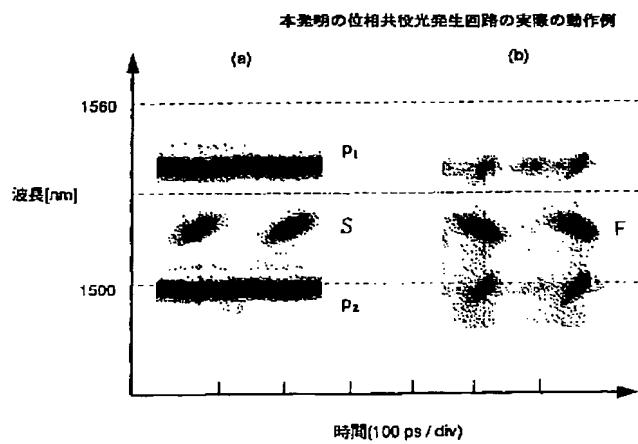


【図11】

4光波混合光に漏れ込んだ不要光成分を抑圧する4光波混合光発生回路の実施例構成

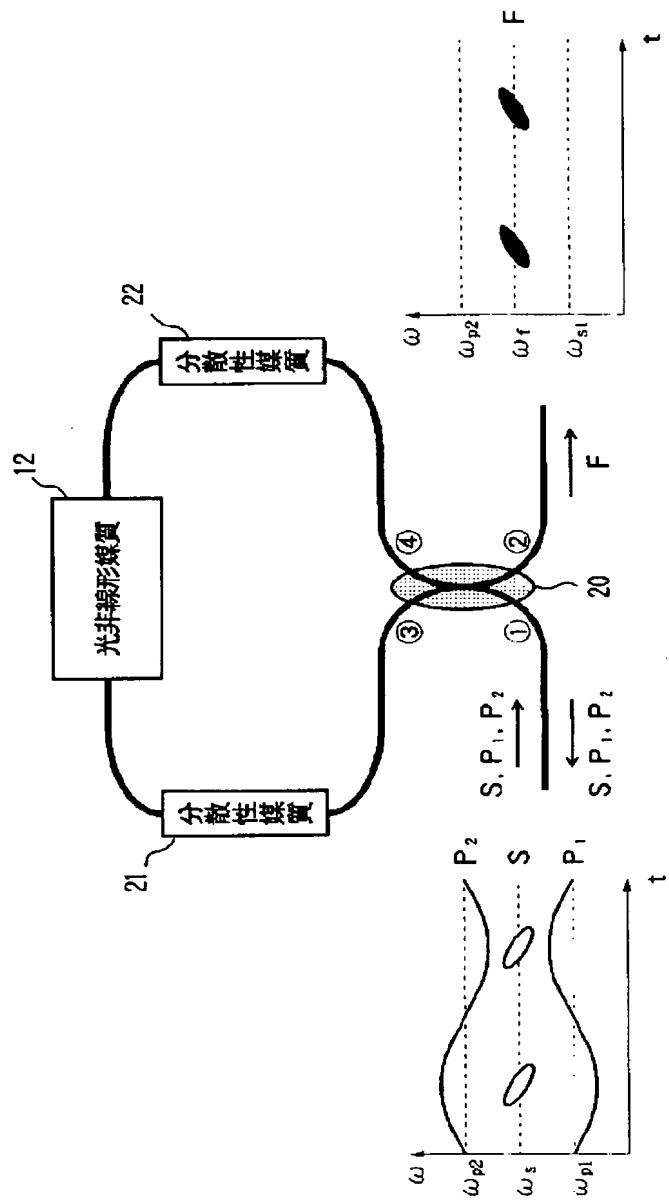


【図16】



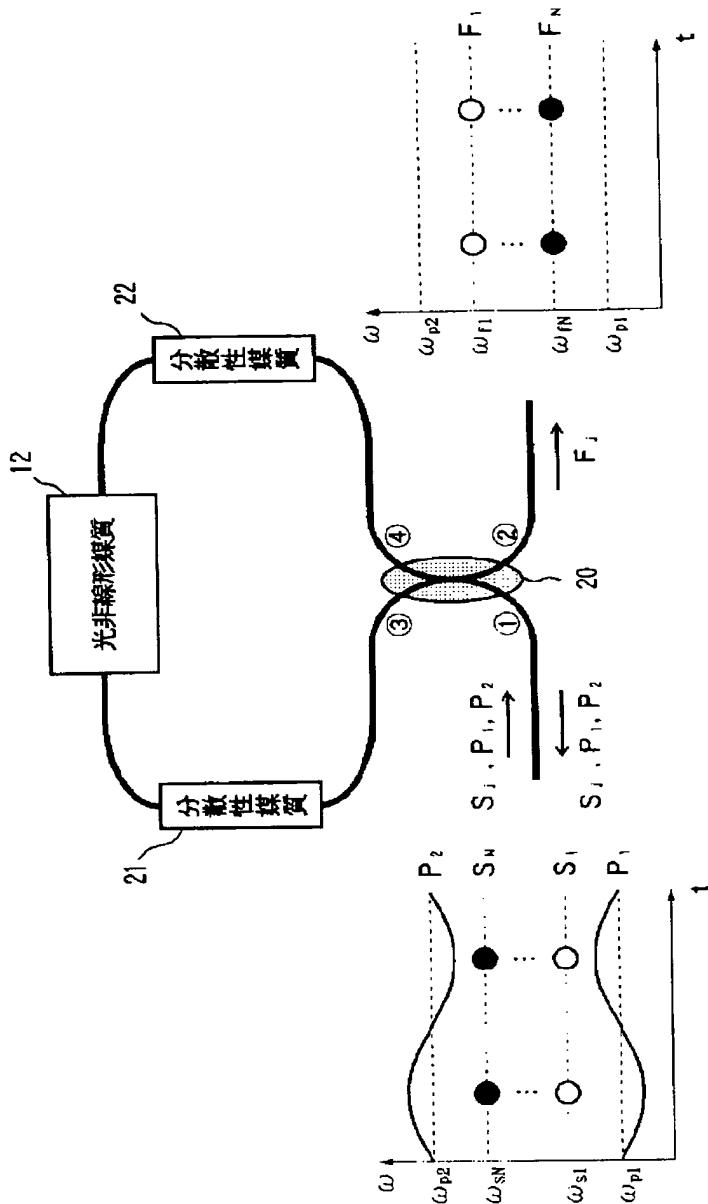
【図12】

角度変調励起光を用いた位相共役光発生回路の実施例構成



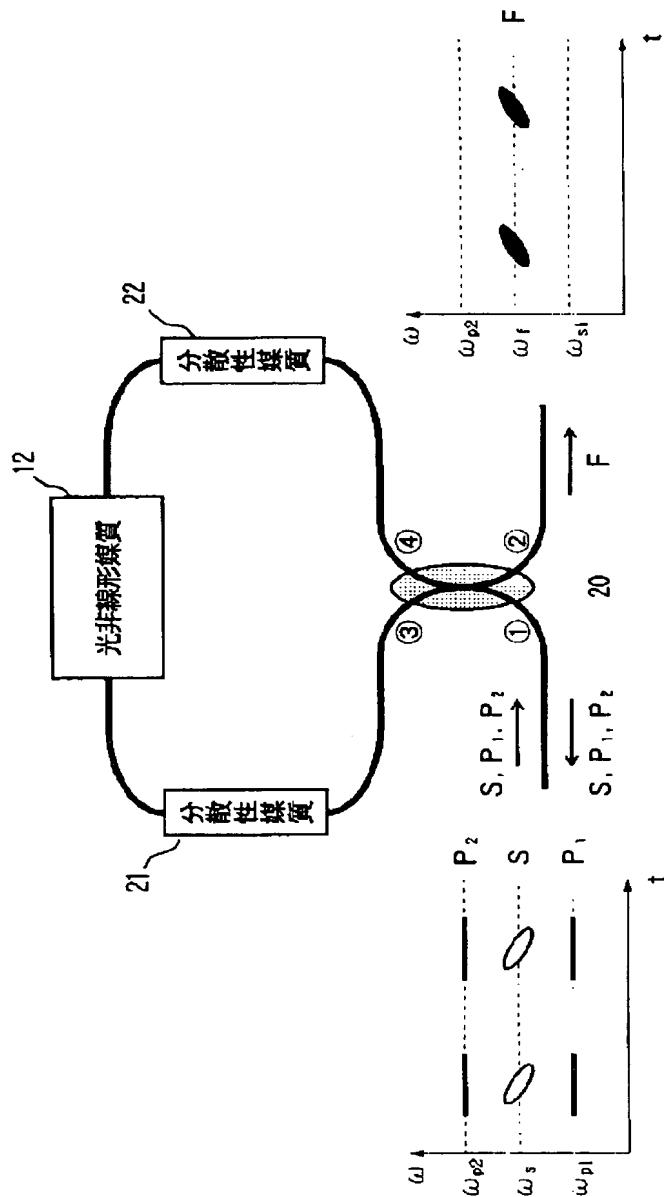
【図13】

角度変調励起光を用いた波長多重信号光の一括波長変換回路の実施例構成

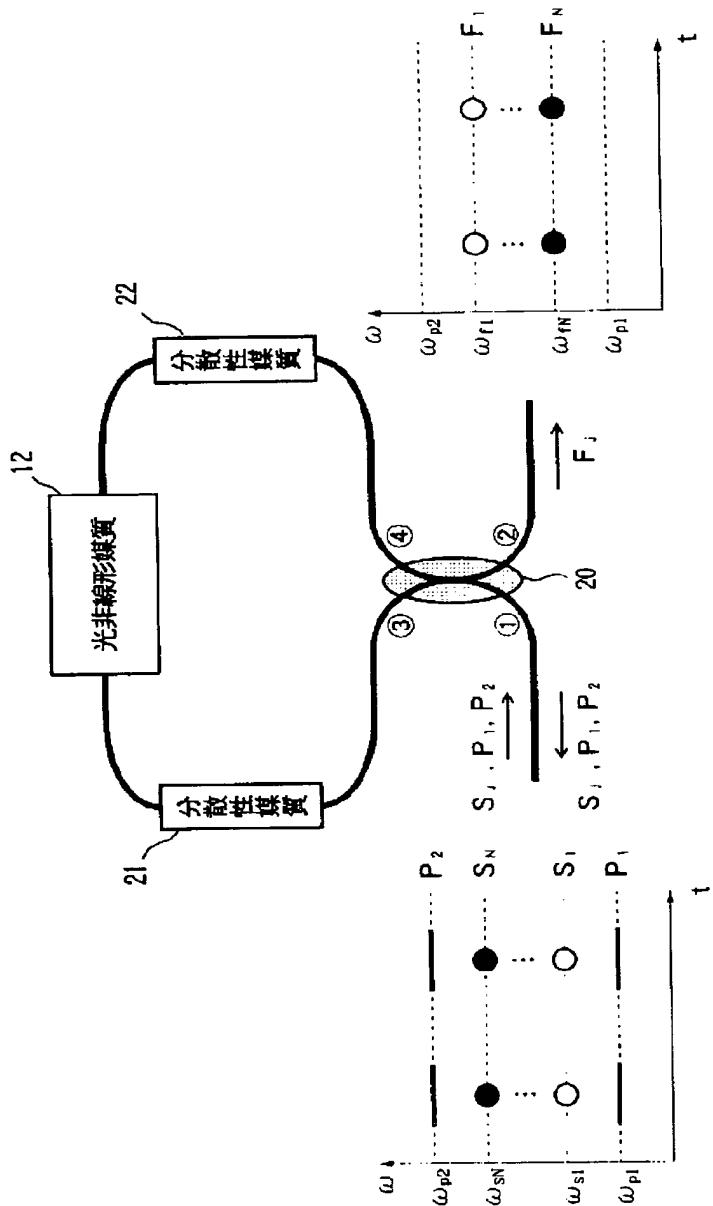


【図14】

強度変調励起光を用いた位相共役光発生回路の実施例構成

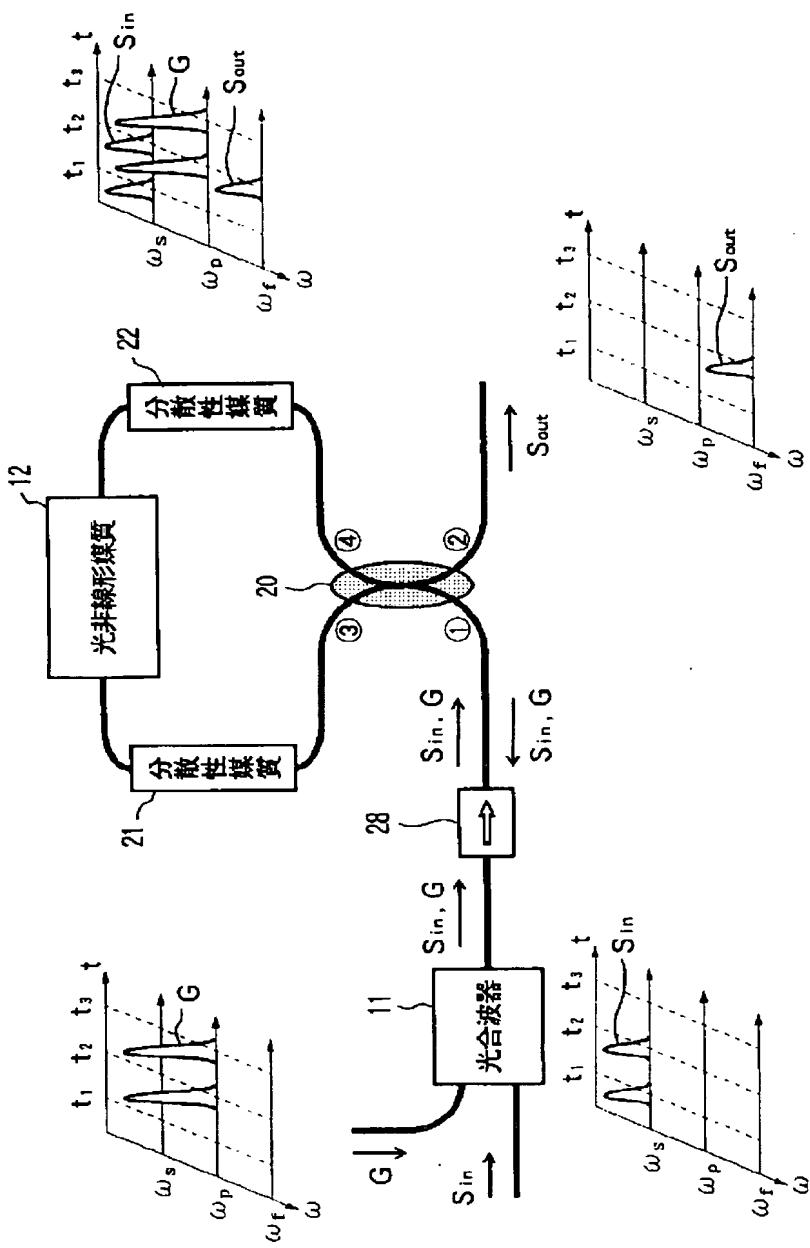


【图 15】



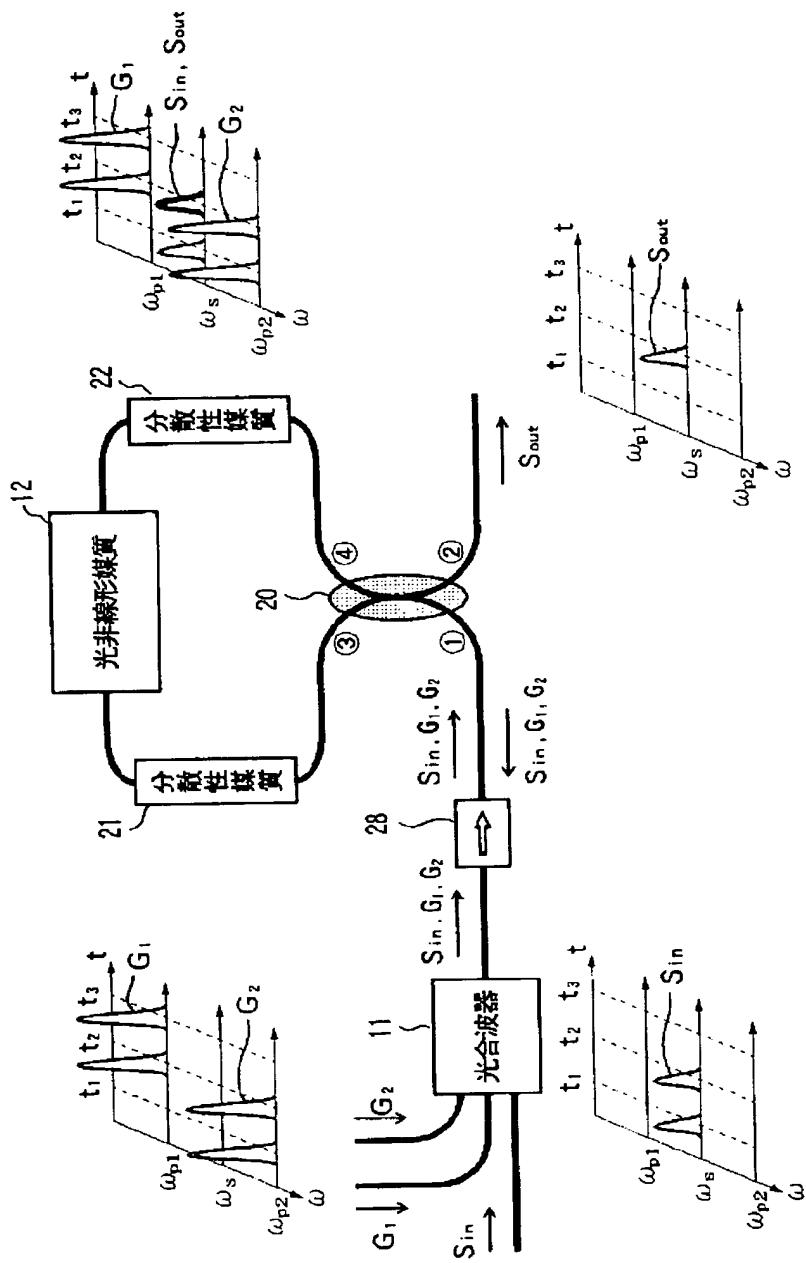
【図17】

2入力の光ゲート回路(光AND回路)となる4光波混合光発生回路の実施例構成



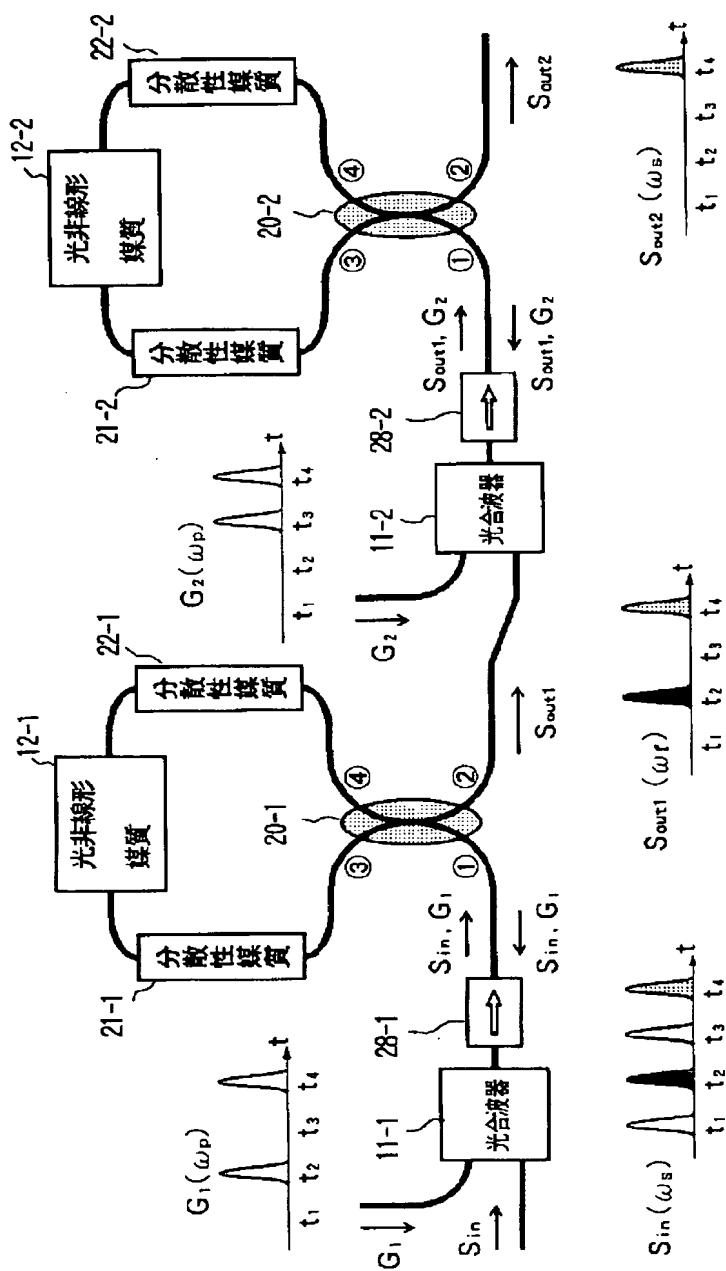
【図18】

3入力の光ゲート回路(光AND回路)となる4光波混合光発生回路の実施例構成

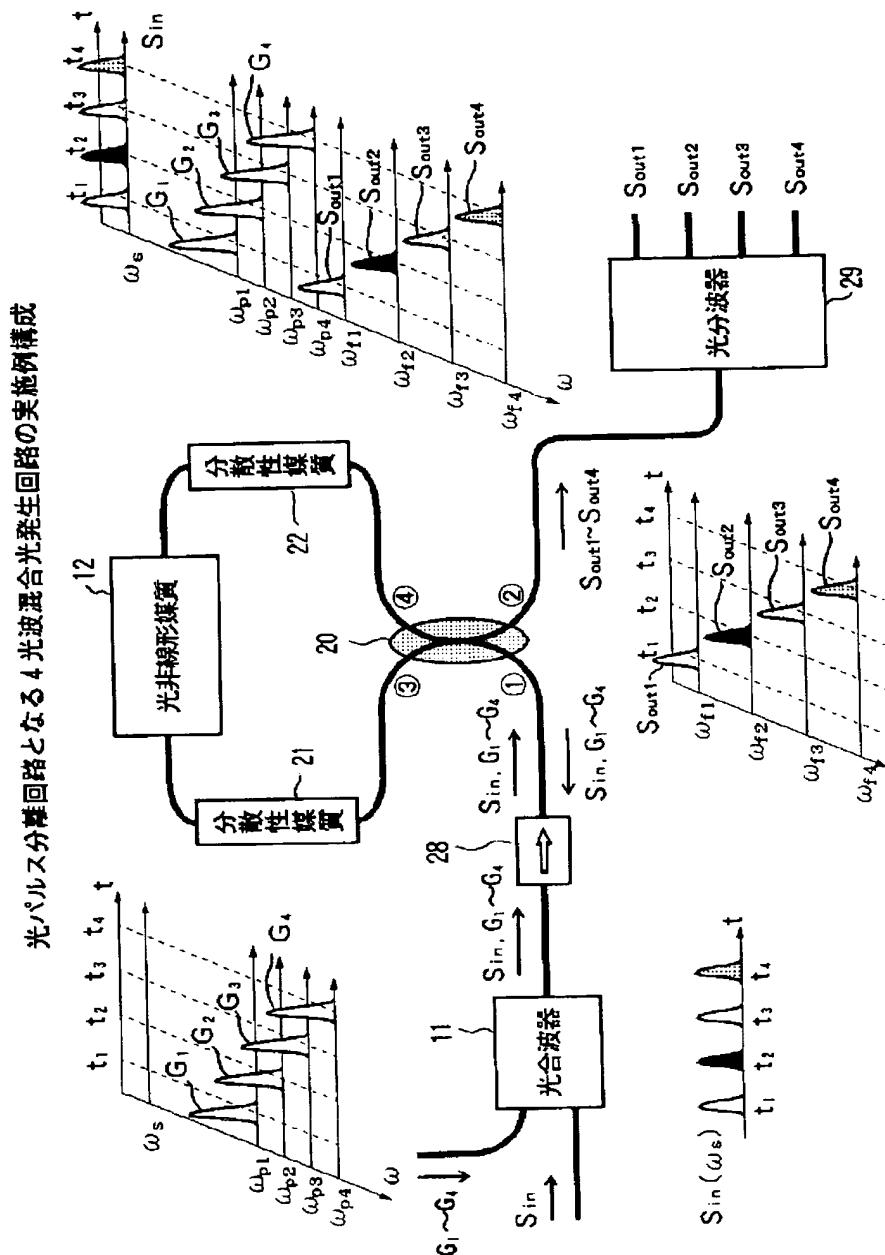


【図19】

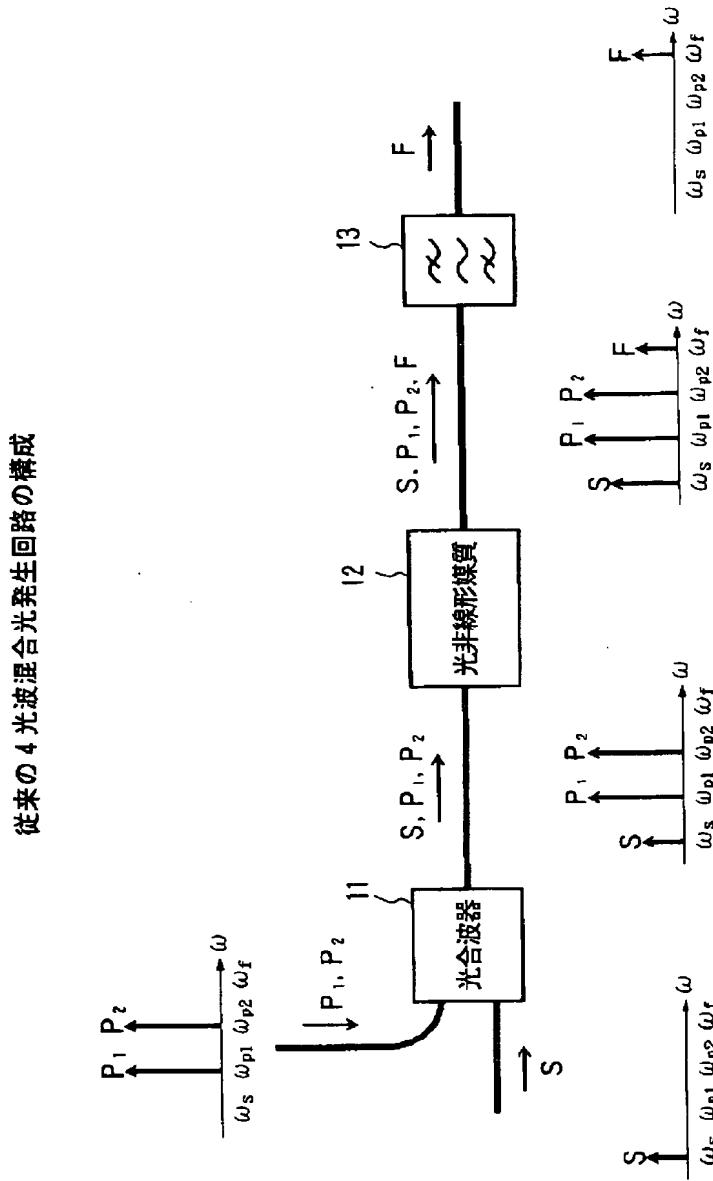
光パルス分離回路となる4光波混合光発生回路の実施例構成



【図20】

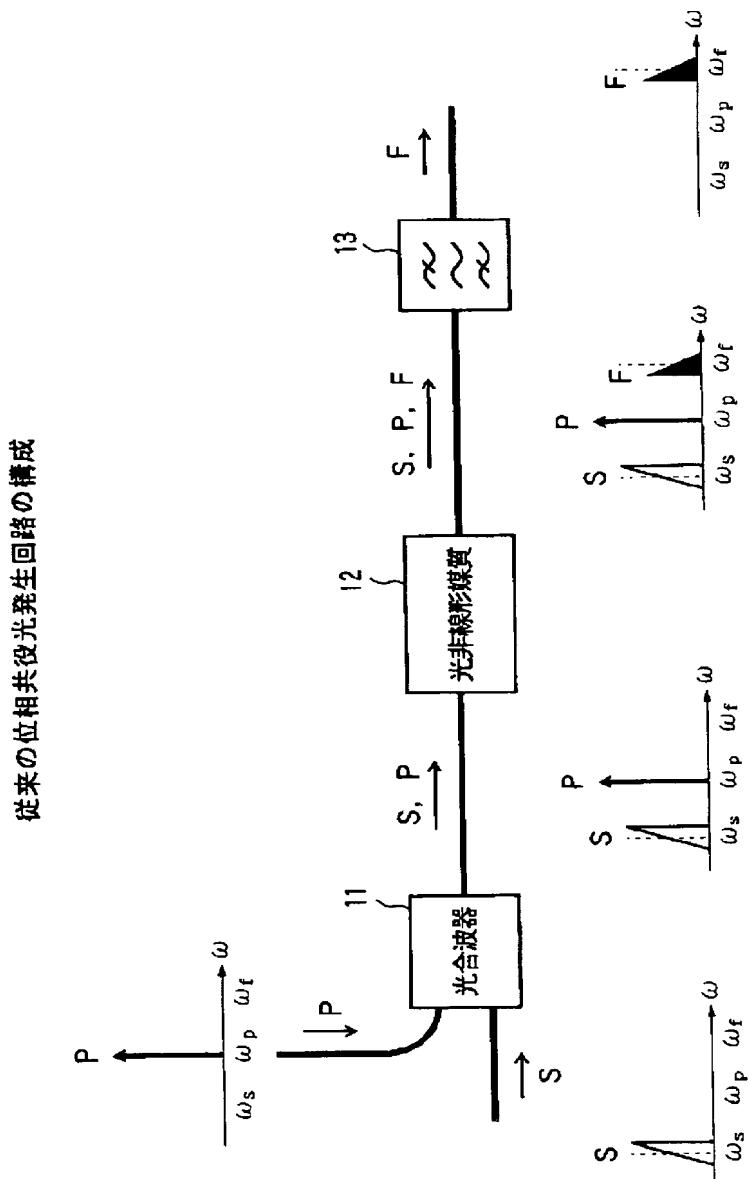


### 【图21】

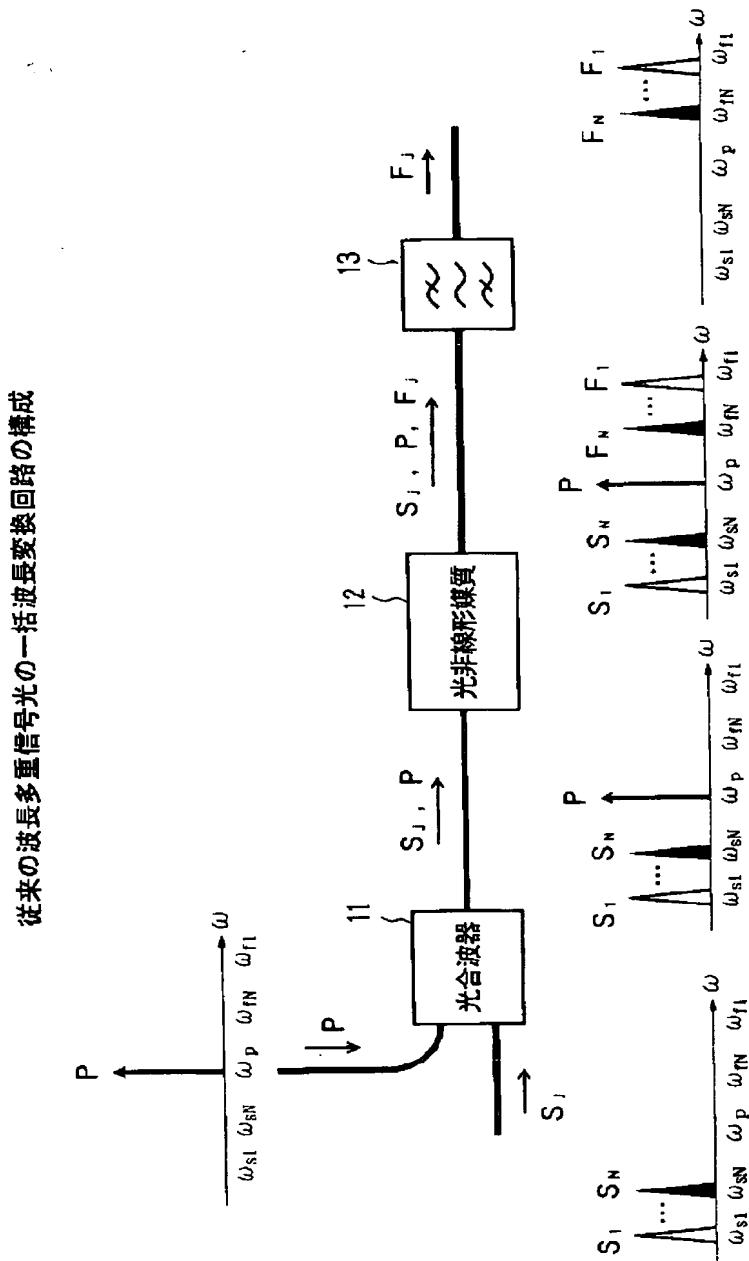


## 従来の4光波混合光発生回路の構成

【図22】



【图23】



THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)